



INSPEÇÃO DE ROTINA DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: PONTES E VIADUTOS

FELIPE MOURA DA SILVA

novembro de 2016

INSPEÇÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS: PONTES E VIADUTOS

FELIPE MOURA DA SILVA

Dissertação submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE INFRAESTRUTURAS

Orientador: Prof. Doutor Carlos Félix

Co-Orientador: Prof. Doutor Eduardo Ioshimoto (Universidade Presbiteriana Mackenzie)

SETEMBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xix
Abreviaturas	xxi
1 Introdução.....	1
2 Aspectos gerais das obras de arte	5
3 Manifestações de anomalias em obra de arte.....	21
4 Métodos de Inspeção.....	53
5 Metodologia a Aplicar em Inspeções Rotineiras.....	71
6 Caso de Estudo	79
7 Considerações Finais	91
Referências Bibliográficas	93
Anexo A - Ficha de inspeção cadastral (NBR-9452).....	97
Anexo B - Ficha de inspeção rotineira (NBR-9452)	102
Anexo C -Inspeção na passarela da FEUP	106

RESUMO

A inspeção de obras de arte é uma atividade que tem por objetivo principal identificar e classificar eventuais falhas ou anomalias que tendem a surgir nas suas características estruturais, afetando sobretudo a sua funcionalidade ou colocando em causa a sua durabilidade. Este trabalho, dedicado à inspeção rotineira de obras de arte, apresenta aspetos gerais relativos aos diversos tipos de obras de arte, particularmente das pontes e viadutos, identificando os sistemas estruturais mais comuns e os respetivos elementos estruturais, e relaciona os tipos de anomalias que ocorrem nessas obras com as modalidades de inspeção existentes na NBR-9452. A partir destes dados o trabalho desenvolve um modelo de inspeção rotineira baseado na NBR-9452, agregando a metodologia proposta pela E.P (Estradas de Portugal). O modelo proposto visa o aperfeiçoamento da avaliação das inspeções rotineiras nas obras de arte no Brasil com a introdução de parâmetros quantitativos por elemento da obra possibilitando uma análise mais precisa das suas condições.

Palavras-chave: Inspeção de estruturas, inspeção rotineira, obras de arte especiais, anomalias.

ABSTRACT

The inspections are generally carried out in bridges and viaducts with the intention of point failures or potential failures tending to come up with structural features, functionality and durability. This work will present the general aspects of bridges and viaducts and relate the anomalies that may be present in this type of work with the types of inspection present in NBR- 9452. Based on this data the work develops a routine inspection model based on NBR- 9452 and adding E.P values (Estradas de Portugal). The proposed model aims at improving the inspection's evaluation of Brazilian bridges and viaducts by introducing quantitative parameters for building elements enabling a better analysis of its conditions

Keywords: inspection, special works of art, anomalies

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradecer aos professores Dr. Carlos Félix e Dr. Eduardo Ioshimoto pelo suporte e ajuda que deram na elaboração deste trabalho.

Agradecer à FEUP por liberar sua passarela para que fosse realizado o estudo.

Agradecer aos amigos Andre Amato, Carlos Eduardo Pinheiro, João Guilherme, Marcos Yamasaki, Leôncio Junior e Lucas Yg ajudaram para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

Aos meus pais, irmão e toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução.....	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Objetivos do trabalho	2
1.3	Estrutura e organização da dissertação.....	2
2	Aspectos gerais das obras de arte	5
2.1	Sistemas estruturais mais comuns.....	6
2.1.1	Pontes em viga	7
2.1.2	Pontes em arco	8
2.1.3	Pontes de cabos.....	9
2.2	Principais Componentes	10
2.2.1	Tabuleiro.....	11
2.2.2	Pilares	11
2.2.3	Encontros.....	12
2.2.4	Fundações.....	12
2.2.5	Aparelhos de apoio.....	13
2.2.6	Juntas de dilatação	15
2.2.7	Órgão de drenagem.....	16
2.3	Ciclo de vida da obra de arte	16
2.4	Sistemas de gestão de obra de arte.....	17
3	Manifestações de anomalias em obra de arte.....	21
3.1	Origem das anomalias.....	23

3.1.1	Manifestações de anomalias devido a erros humanos	25
3.1.2	Manifestações de anomalias devidas ações naturais.....	26
3.1.3	Corrosão.....	32
3.2	Caracterização dos tipos de anomalias.....	35
3.2.1	Patologias de Comportamento não estrutural.....	35
3.2.2	Patologias de comportamento estrutural	38
3.2.3	Falhas nos materiais constituintes	46
4	Métodos de Inspeção.....	53
4.1	Inspeção Cadastral	55
4.2	Inspeção Rotineira	55
4.3	Inspeção Especial	59
4.4	Inspeção Extraordinária	60
4.5	Critério de Classificação	60
4.6	Ensaio de apoio para inspeção especial	62
4.6.1	Pacómetro.....	63
4.6.2	Esclerómetro.....	63
4.6.3	Ultrassom.....	65
4.6.4	Ensaio de Carbonatação	66
4.6.5	Resistividade Elétrica	67
4.6.6	Ensaio corpo de prova	69
5	Metodologia a Aplicar em Inspeções Rotineiras.....	71
6	Caso de Estudo	79
6.1	Apresentação do Caso de Estudo	79
6.2	Inspeção de Rotina do Passadiço	84
6.3	Resultado da Inspeção	88
7	Considerações Finais	91
7.1	Conclusões	91

7.2 Desenvolvidimentos Futuros	92
Referências Bibliográficas	93
Anexo A - Ficha de inspeção cadastral (NBR-9452).....	97
Anexo B - Ficha de inspeção rotineira (NBR-9452)	102
Anexo C -Inspeção na passarela da FEUP	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1- Lei de evolução de custos, Lei de Sitter (Miranda, 2014)	2
Figura 2.1 - Tipos de estruturas mais comuns para pontes (CostaCosta, 2009)	5
Figura 2.2 - Tipos de ponte segundo o seu estrutural (Manterola, 2004)	6
Figura 2.3 - Tipos de pontes em viga (Savelli, 2016)	7
Figura 2.4 - Pontes em arco (Gomes, 2006)	8
Figura 2.5 -Pontes suspensas por cabos (Savelli, 2016)	9
Figura 2.6 - Divisão estrutural de uma ponte (Gomes, 2006)	10
Figura 2.7 - Principais componentes das pontes (Costa, 2009)	10
Figura 2.8 - Diferentes tipos de seções transversal de pontes em concreto (Costa, 2009)	11
Figura 2.9 - Modelos de encontro (Costa, 2009)	12
Figura 2.10 - Tipos de aparelhos de apoio (Costa, 2009)	14
Figura 2.11 - Tipos de juntas (Lima, 2006)	15
Figura 2.12 - Desempenho de uma Ponte em função do tempo (BRIME, 2002)	17
Figura 2.13 - Esquema de um Sistema de Gestão de Obras de Arte (Costa, 2009)	19
Figura 3.1 - Fatores que afetam a vida útil de uma ponte (Radomski, 2002)	23
Figura 3.2 - Processo de degradação da estrutura de concreto (Costa, 2009)	24
Figura 3.3 - Fatores que podem dar origem ao aparecimento de anomalias (Costa, 2009)	24
Figura 3.4 - Desgaste: a) abrasão do concreto b) Cavitação do concreto (Vitório, 2015)	28
Figura 3.5 - Ação de CO ₂ nos poros do concreto (SOUZA, 2005)	30
Figura 3.6 - Fatores de risco de corrosão (Miranda, 2014)	31
Figura 3.7 - Reação álcalis-sílica (Costa, 2009)	32
Figura 3.8 - Aumento do volume do aço, provocado pela corrosão (SOUZA, 2005)	33

Figura 3.9 - Corrosão da armadura (Vitório, 2015)	34
Figura 3.10 - Corrosão da armadura (Vitório, 2015)	34
Figura 3.11 - Patologias por vegetação (Vitório, 2015)	36
Figura 3.12 - Patologias por umidade (Manual de inspeção de pontes rodoviárias. 2004).....	37
Figura 3.13 - Segregação do concreto (Manual De Inspeção De Pontes Rodoviárias, 2004).....	44
Figura 3.14 - Deterioração da estrutura (Manual De Inspeção De Pontes Rodoviárias, 2004).....	45
Figura 3.15 Patologias nas juntas de dilatação (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004).....	49
Figura 3.16 - Patologias no sistema de drenagem (Vitório, 2015)	50
Figura 3.17 - Patologias no guarda-corpo (Vitório, 2013)	51
Figura 3.18 - Patologias no pavimento (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004).	51
Figura 3.19 - Patologias no passeio (Vitório, 2013)	52
Figura 3.20 - Patologias no talude (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004).	52
Figura 4.1 - Fluxograma de gerenciamento da OAE (NBR-9452)	54
Figura 4.2 - Caminhão-guindaste articulado com cesto inspeciona (Araujo, 2014).....	58
Figura 4.3 - Vistoria realizada com o uso de um drone (Araujo, 2014).....	59
Figura 4.4 - Aparelho utilizado para a detecção da armadura	63
Figura 4.5 - Funcionamento esclerómetro (Sahuinco, 2011)	64
Figura 4.6 - Esquema de aplicação do ensaio (Sahuinco, 2011).....	64
Figura 4.7 - Esclerómetro (Alves, 2015).....	65
Figura 4.8 - Aparelho de medição ultrassom.....	65
Figura 4.9 - Tipos de transmissão (Alves, 2015)	66
Figura 4.10 - Aplicação da fenolftaleína (Alves, 2015)	67
Figura 4.11 - Método resistividade elétrica (Sahuinco, 2011).....	68
Figura 4.12 - Aparelho utilizado para a determinação da resistividade do concreto	68
Figura 4.13 - Equipamento para retirar corpo de prova, serra copo (Alves, 2015).....	69
Figura 4.14 - Ensaio de resistência (Sahuinco, 2011)	70
Figura 4.15 - Ensaio de resistividade elétrica (Sahuinco, 2011)	70

Figura 5.1 - Fluxograma da inspeção.....	71
Figura 5.2 -Ficha de inspeção	78
Figura 6.1 - Passarela da FEUP (Barrias, 2012)	79
Figura 6.2 - Localização da passarela	80
Figura 6.3 - Desenho da passarela no AutoCAD (Barrias, 2012)	81
Figura 6.4 - Desenho detalhado do tabuleiro (BARRIAS, 2012)	82
Figura 6.5 - Desenho detalhado do pilar (BARRIAS, 2012).....	82
Figura 6.6 - Pilar da passarela.....	83
Figura 6.7 - Amortecedor de vibração.....	83
Figura 6.8 - Vista norte	84
Figura 6.9 - Deformação do pavimento do lado sul	84
Figura 6.10 - Vista lateral lado sul	85
Figura 6.11 - Manchas de concreto no encontro lado sul.....	85
Figura 6.12 - Vista inferior do tabuleiro no sul.....	86
Figura 6.13 -Tabuleiro com manchas de umidade.....	86
Figura 6.14 - Tabuleiro com mancha oxidação	87
Figura 6.15 - Linhas dos cabos.....	87
Figura 6.16 - Ficha de inspeção da Passarela da FEUP	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação entre o custo de manutenção e substituição das OAEs (BRIME, 2002).....	18
Tabela 3.1 - Fatores de degradação do concreto (Ferreira, 2000).....	22
Tabela 3.2 - Patologias provenientes de defeitos de construção (Costa, 2009).....	25
Tabela 3.3 - Mudanças do concreto armado a altas temperaturas (Lapa, 2008)	27
Tabela 3.4 - Cobrimento da armadura (NBR 6118).....	33
Tabela 3.5 - Principais fissuras (ABECE).....	39
Tabela 3.6 - Principais tipos de fissuras na estrutura de concreto (MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS, 2004).....	40
Tabela 3.7 - Patologia nos aparelhos de apoio (Costa, 2009)	47
Tabela 3.8 - Patologia em juntas de dilatação (Ferreira, 2003)	48
Tabela 4.1 - O que deve ser analisado em cada elemento de uma ponte (Vitório, 2006).....	56
Tabela 4.2- Classificação das condições da OAE segundo NBR-9452 (NBR-9452)	60
Tabela 5.1- Exemplo relatório de vistoria	73
Tabela 5.2 - Exemplo codificação das anomalias	74
Tabela 5.3 - Classificação usada NBR-9452	74
Tabela 5.4 - Critérios do estado de conservação (Rodrigues, 2015)	75
Tabela 5.5 - Classificação quanto ao estado de conservação (Rodrigues, 2015).....	76
Tabela 5.6 - Notas de classificação para inspeção rotineira.	76
Tabela 6.1 - Patologias codificadas	88
Tabela 6.2 - Avaliação do estado de conservação da estrutura.....	88

ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

EP Estradas de Portugal, S.A.

OAE Obras de Arte Especiais

NBR Norma Brasileira aprovada pela ABNT

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As obras de arte especiais (OAE) têm uma grande importância para o desenvolvimento das cidades. Pontes e Viadutos representam a maior parcela das obras de arte pertencentes às redes viárias. Estas obras têm a função de transpor obstáculos tais como avenidas, vales e rios.

Essas obras estão submetidas às ações externas provenientes de cargas móveis de veículos, forças devidas ao vento, ações das águas dos rios e variação de temperatura. Além disso, estão construídas em ambiente sujeito a diversos tipos de classes de agressividade, conforme apresentadas na ABNT NBR 6118:2014.

A degradação das estruturas destas construções está vinculada a questões como: idade, exposição ao ambiente e falta de atividades de manutenção. Detectar as anomalias e as controlar previamente evita problemas maiores na durabilidade da estrutura.

Neste contexto é necessário realizar inspeções montar uma estratégia de combate e controle de possíveis problemas surgidos para garantir uma maior vida útil e o melhor desempenho de serviço. As inspeções rotineiras têm como finalidade compreender e recolher informações das condições da OAE.

Segundo os dados apresentados por Vitorio (2015), publicados pelo Tribunal de Contas da União (TCU), 75% das pontes existentes nas rodovias brasileiras encontram-se em condições precárias e necessitam de intervenção de recuperação, reforços ou alargamento para se adaptarem às exigências dos serviços.

Esses fatos demonstram a falta de uma cultura de manutenção preventiva nas obras de artes no Brasil. Os custos poderiam ser menores caso fossem adotados procedimentos sistemáticos de inspeção para avaliar suas condições e apontar as necessidades de reparos e manutenção destas obras.

Os trabalhos de Vitorio (2015), Lourenço (2009), Vitorio (2013) e Wolff (2013) apresentam um fator em comum nas inspeções e manutenções realizadas no Brasil. As inspeções são realizadas de maneira rudimentar, apresentam uma produtividade baixa e não possuem uma padronização pois dependem dos critérios aplicados por cada inspetor.

Deve-se levar em conta que a demora no início de uma manutenção muitas vezes causada pela falta de inspeções nas obras eleva o custo dos reparos e torna-os mais trabalhosos. A lei de evolução do custo,

também conhecida como Lei de Sitter (ver na Figura 1.1), demonstra que os custos de correções crescem gradativamente com passar do tempo.

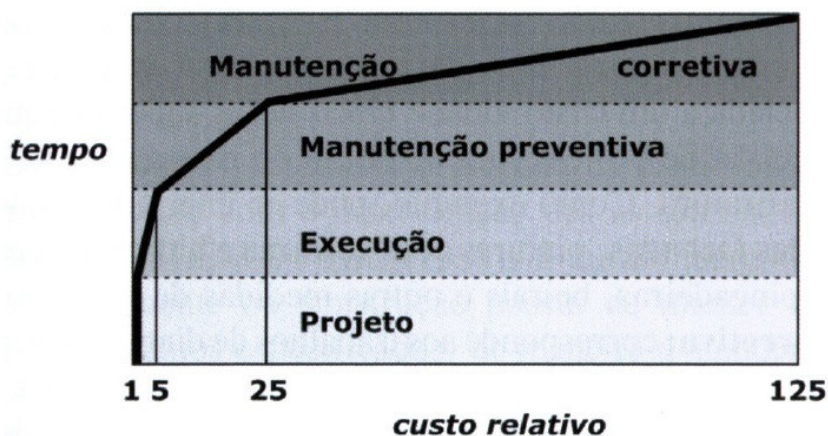


Figura 1.1- Lei de evolução de custos, Lei de Sitter (Miranda, 2014)

Este trabalho busca apresentar uma metodologia de inspeção neste tipo de construções baseada nos métodos de inspeção aplicados em Portugal (Estradas de Portugal, E.P) e do Brasil (ABNT NBR 9452:2016), estabelecendo níveis de prioridade relacionados às anomalias e apresentando um sistema de fácil entendimento da situação em que se encontra a obra de arte.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O trabalho tem como objetivo geral apresentar uma metodologia de inspeção rotineira em pontes, viadutos e passarelas, agregando valores E.P na inspeção rotineira da NBR-9452.

Para que objetivo seja alcançado é necessário apresentar alguns pontos mais detalhados. Desse modo temos como objetivos específicos:

- Identificar e caracterizar os aspectos das obras de arte especiais.
- Identificar as principais anomalias encontradas em pontes e viadutos.
- Analisar e associar as características entre a NBR-9452 e EP.
- Padronizar os procedimentos de inspeção rotineira

1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho estará estruturado em sete capítulos. O capítulo 1 apresentará a introdução, composta pelos seguintes itens: conceituação e caracterização do tema, objetivo e estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta conteúdo relacionado aos aspectos gerais das obras de arte especiais, principalmente pontes e viadutos. Este capítulo baseia-se em conteúdo bibliográfico para apresentar sistemas de estruturas mais comuns e principais componentes que constituem uma ponte. Neste ponto pretende-se analisar o ciclo de vida da obra de arte e a função de um sistema de gestão.

O capítulo 3 apresenta conteúdo relacionado às anomalias que aparecem em obras de arte, especificamente em pontes e viadutos de concreto. Este capítulo se baseia em conteúdos bibliográficos, analisando vida útil e durabilidade de uma estrutura de concreto apontando fatores que dão origem as anomalias e apresentando caracterização das anomalias das obras de arte.

O capítulo 4 apresenta os métodos de inspeção, sua funcionalidade e a importância das inspeções para um sistema de gestão. Além disso expõe os principais tipos de inspeções presentes NBR-9452 e com base neste documento propõe o método aplicado no estudo de caso.

O capítulo 5 apresenta uma metodologia de inspeção rotineira desenvolvida no âmbito do presente trabalho, que consiste no uso da NBR-9452, agregando valores EP para melhor análise e padronização da inspeção. No capítulo 6 este método será aplicado em uma OAE, em um estudo de caso, para analisar e avaliar as suas condições de estado.

No capítulo 7 serão apresentadas as considerações finais baseadas e fundamentadas nas referências bibliográficas e nos resultados obtidos no presente trabalho e das recomendações e sugestões resultantes da pesquisa que deverão ser objetos de trabalho futuros.

2 ASPECTOS GERAIS DAS OBRAS DE ARTE

De entre as obras de arte especiais, as pontes e os viadutos são as que têm o uso mais generalizado nas infraestruturas de transportes. Tais estruturas têm o objetivo de realizar uma comunicação entre dois pontos, com o intuito de reduzir as distancias onde existe a necessidades de vencer obstáculos impostos por relevos, rios, lagos ou mesmo outras vias.

Os elementos em questão são indispensáveis para um sistema viário eficiente e possuem grande importância para desenvolvimento econômico e social das cidades (Pereira, 2007).

O trabalho vai apresentar os sistemas de estrutura mais comuns (ver na Figura 2.1), os principais componentes pertencentes às pontes, expor o ciclo de vida e a função do sistema de gestão de obras de arte especiais.

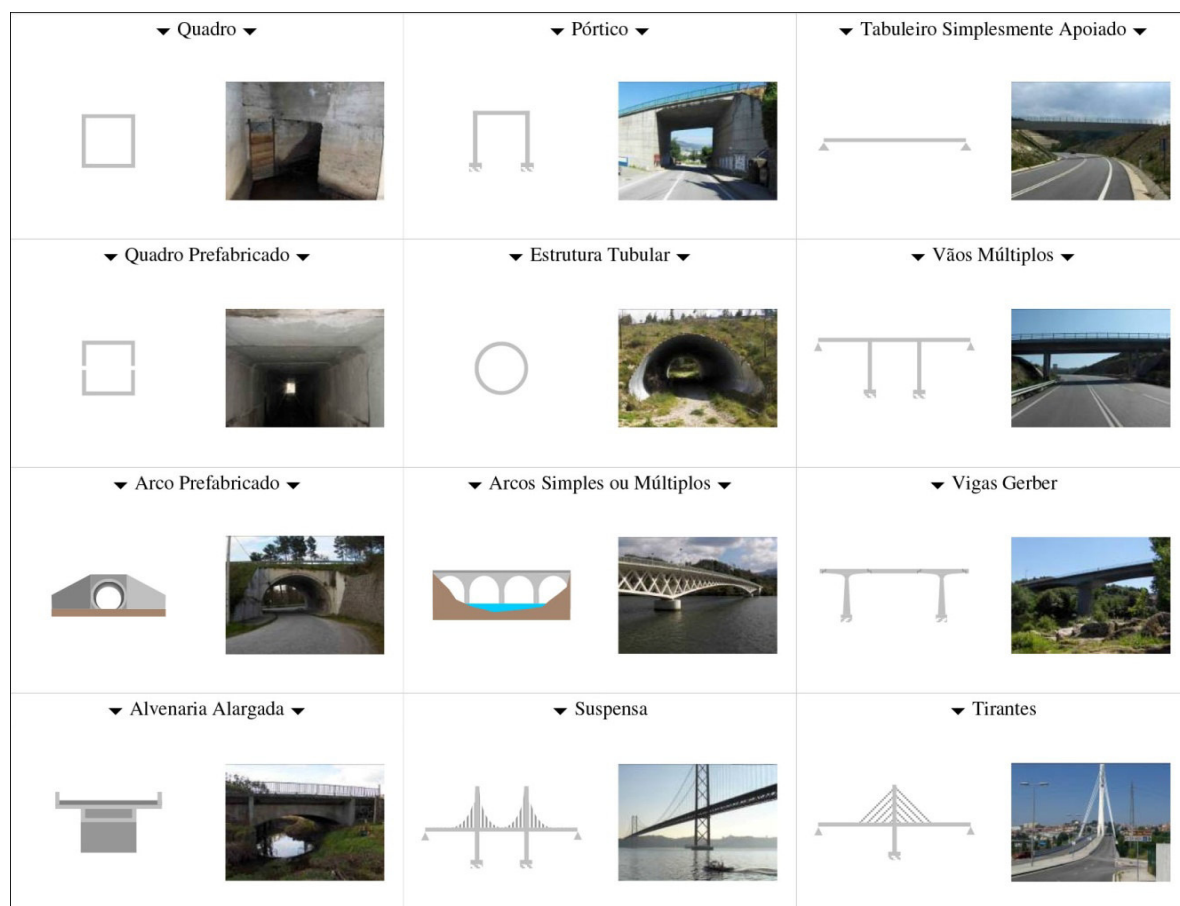


Figura 2.1 - Tipos de estruturas mais comuns para pontes (CostaCosta, 2009)

2.1 SISTEMAS ESTRUTURAIS MAIS COMUNS

Existem diferentes tipos de sistema estruturais. Eles são definidos por diferentes fatores como os materiais, a tecnologia, o "know-how" da época associado aos desafios e meios físicos como a topografia e aos meios econômicos existentes (Costa, 2009).

Outro fator que define o tipo de sistema que será usado é a expressão estética, ou seja, o papel arquitetônico que esta obra pode representar, expressando um marco ou uma ideologia de uma época.

Entre os vários tipos estruturais podemos definir três tipos mais comuns: as pontes em viga, em arco e em cabos, conforme na Figura 2.2.

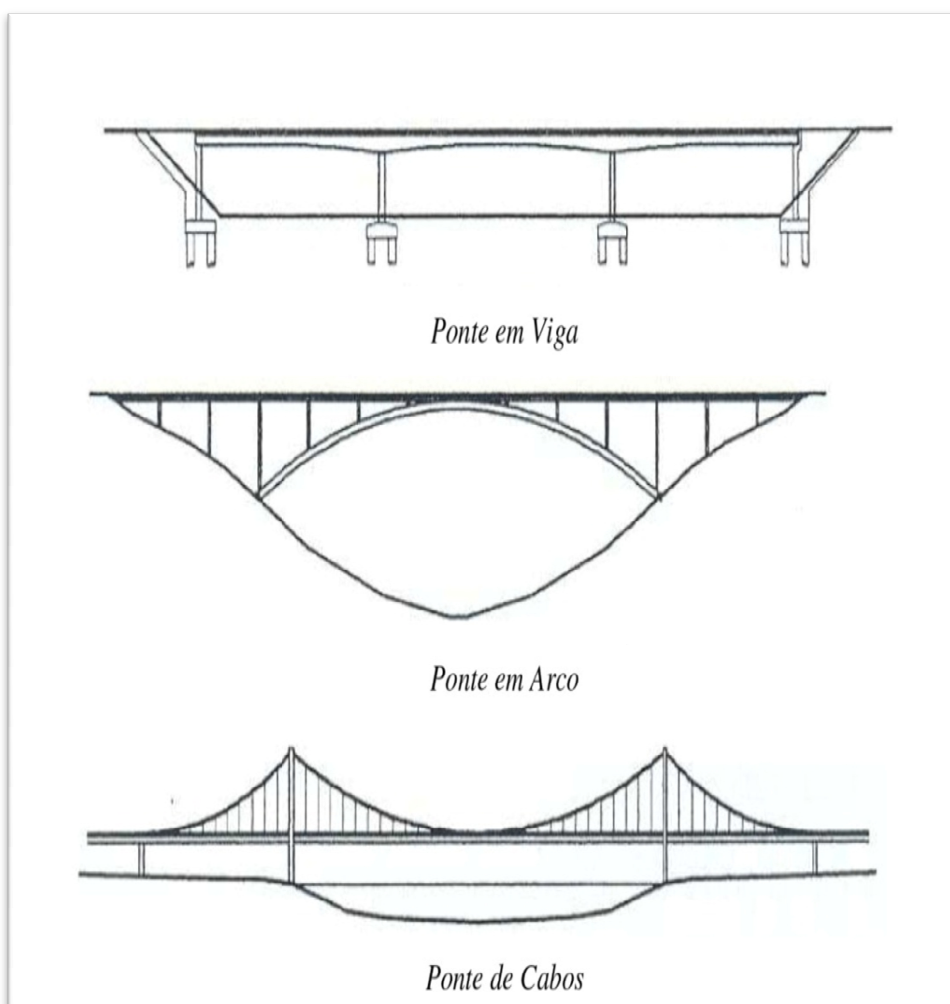


Figura 2.2 - Tipos de ponte segundo o seu estrutural (Manterola, 2004)

2.1.1 Pontes em viga

Pontes em vigas podem ser definidas como estruturas que se sustentam em dois apoios encontrados nos extremos e séries de pilares intermediários. Tais obras utilizam flexões generalizadas (flexão, corte, torção, etc.) como mecanismo fundamental para transmitir as cargas (Savelli, 2016).

Existem diferentes tipos de pontes em viga que variam de acordo com seu comportamento estrutural. Os tipos mais conhecidos são vigas simplesmente apoiadas, a viga gerber e a viga contínua (pórtico), conforme a Figura 2.3.

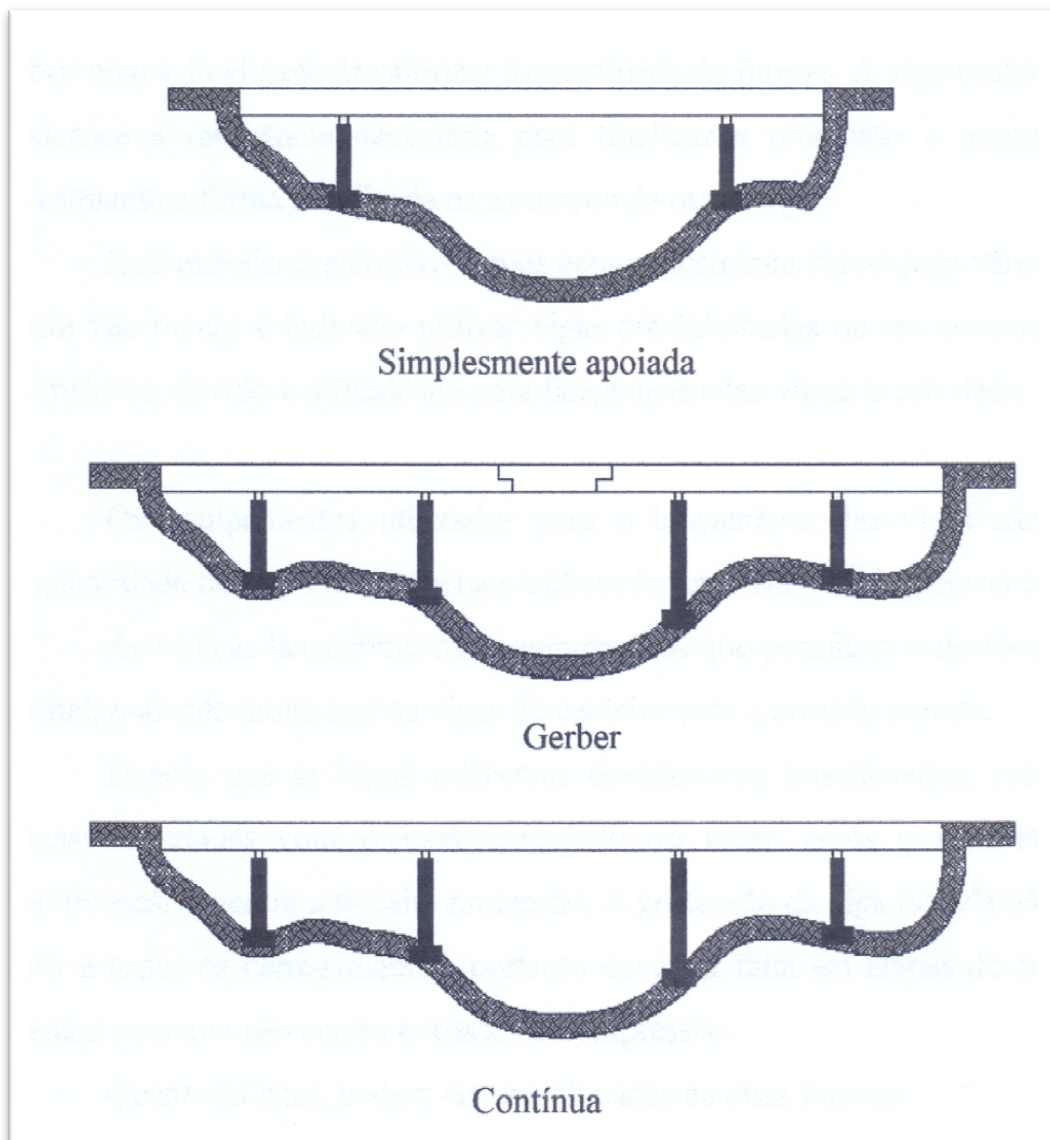


Figura 2.3 - Tipos de pontes em viga (Savelli, 2016)

2.1.2 Pontes em arco

As estruturas em arco possibilitam o uso do concreto armado para grandes vãos. O arco recebe a carga da ponte e distribui por linha de pressão que funciona essencialmente por compressão. São utilizados materiais com grande resistência a compressão, como é caso do concreto armado (Gomes, 2006).

O arco pode ser usado de três formas diferentes trabalhando com o tabuleiro. Como pode ser visto na Figura 2.4.

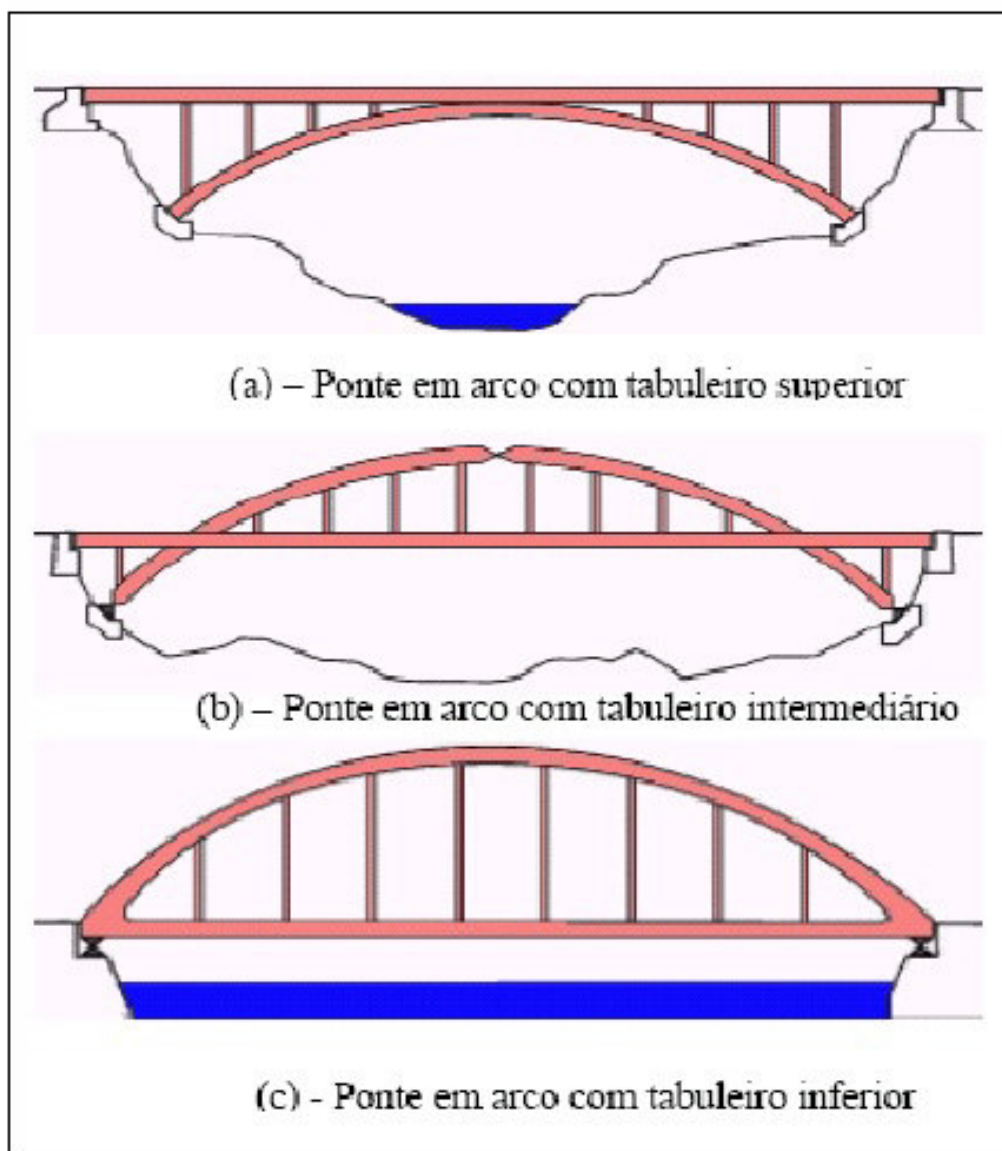


Figura 2.4 - Pontes em arco (Gomes, 2006)

2.1.3 Pontes de cabos

Nas pontes de cabos, os cabostracionados servem de suporte ao tabuleiro que trabalha à flexão. O elemento principal de sustentação neste caso são os cabos. Distinguem-se em dois tipos de pontes: as pontes suspensas (Pênsil) e atirantadas (Estaiada). Como pode ser visto na Figura 2.5.

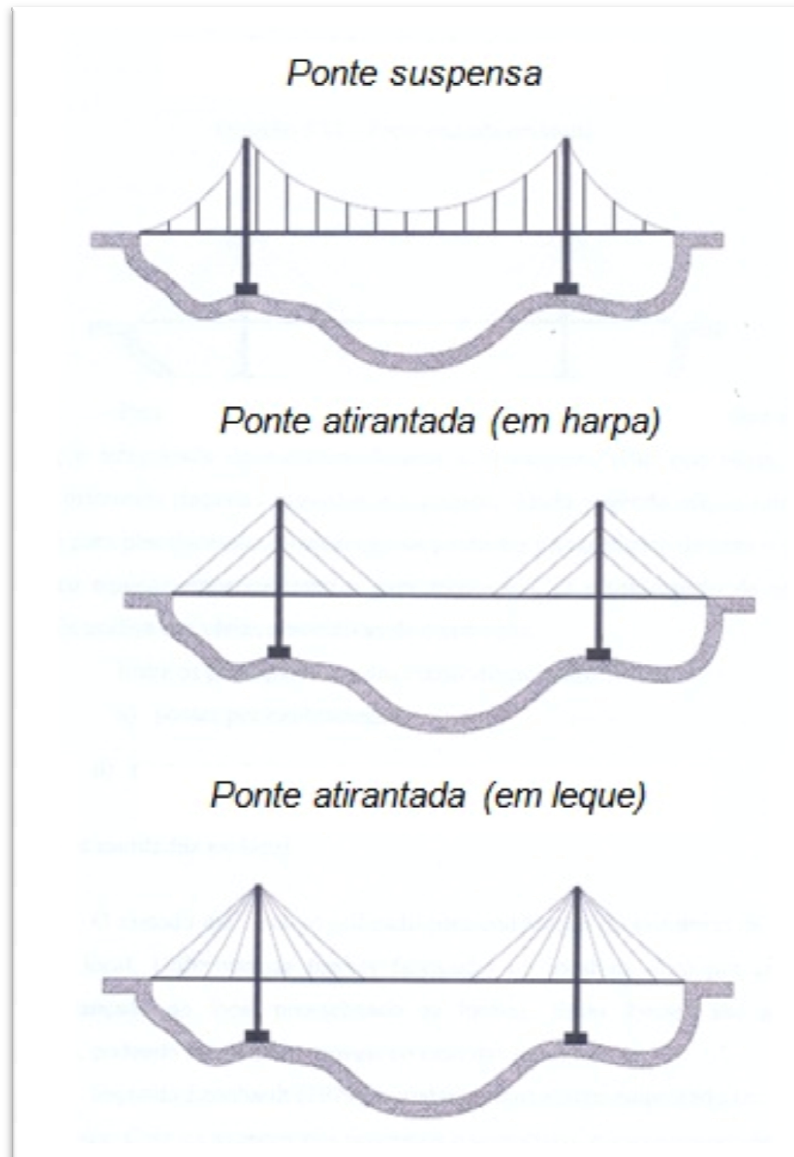


Figura 2.5 -Pontes suspensas por cabos (Savelli, 2016)

Nas pontes atirantadas os cabos são colocados inclinados e fixados em torres e nos tabuleiros, de forma que os tabuleiros fiquem suspensos pelos cabos. Nas pontes suspensas os cabos participam de dois processos: uns conjuntos de cabos servem como estrutura de apoio entre as torres e outro conjunto que realiza a ancoragem no tabuleiro.

2.2 PRINCIPAIS COMPONENTES

A estrutura pode ser dividida em três partes principais: superestrutura, mesoestrutura e a infraestrutura. Como pode ser visto na Figura 2.6.

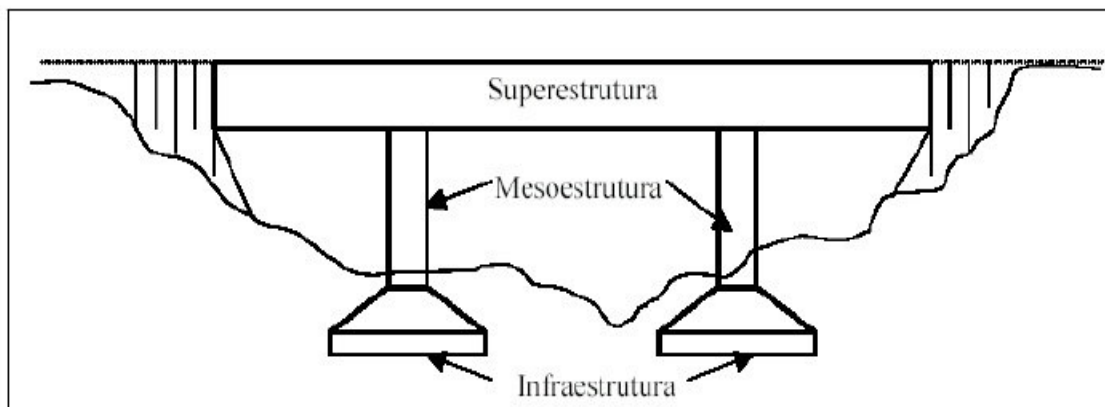


Figura 2.6 - Divisão estrutural de uma ponte (Gomes, 2006)

A superestrutura representa a parte superior, a parte da estrutura que tem contato direto com cargas acidentais que tem como principal agente o tráfego de veículos ou pessoas. Os componentes que apresentam nesta estrutura são tabuleiros, juntas de dilatação, guarda corpo e pavimentos.

A mesoestrutura recebe os esforços da superestrutura e repassa à infraestrutura. Os componentes desta estrutura são pilares, encontros e aparelhos de apoio.

A infraestrutura representa na obra de arte a sua fundação. A fundação é definida pelo tipo de esforço que vai receber da mesoestrutura e pelo tipo de terreno.

Os componentes de uma ponte são definidos pelo tipo de material e a tipologia estrutural que será aplicado. A Figura 2.7 a seguir ilustra principais componentes de uma ponte de concreto.

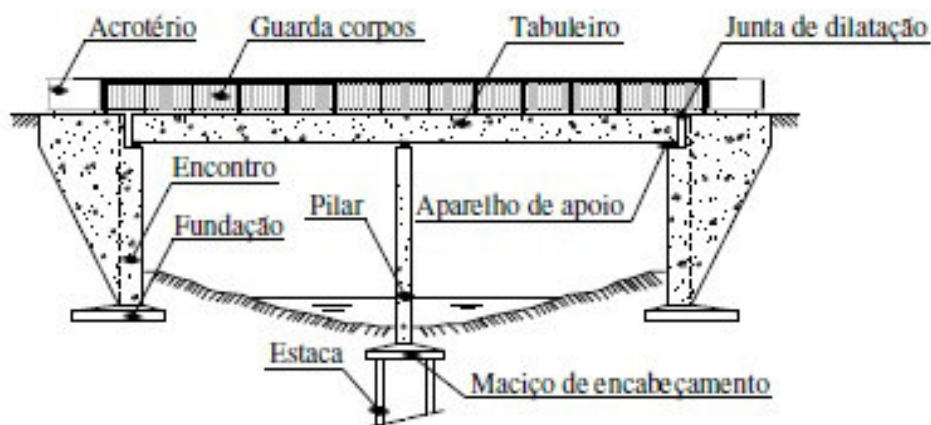


Figura 2.7 - Principais componentes das pontes (Costa, 2009)

2.2.1 Tabuleiro

O tabuleiro é o principal componente de solicitação por cargas de diferentes tipos: carga no sentido vertical (peso próprio, cargas permanentes e sobrecargas), no sentido horizontal (frenagem, vento e sismo) e também por sofrer ações de deformação devido a variação de temperatura, retrações e pré-esforços (Costa, 2009).

Existem diferentes tipos de tabuleiros dependendo do material, do processo construtivo e da largura definida pelo projeto. Os materiais mais utilizados são o concreto moldado in-loco, concreto pré-moldado e aço. Entre os quais o concreto moldado in-loco é material mais tradicional e mais empregado (Gomes, 2006).

Na Figura 2.8 a seguir apresenta alguns exemplos de tipos de tabuleiros de concreto moldado in-loco.

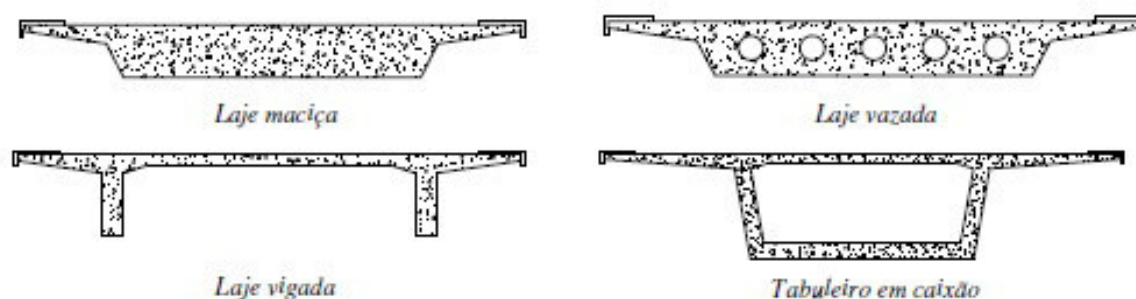


Figura 2.8 - Diferentes tipos de seções transversal de pontes em concreto (Costa, 2009)

2.2.2 Pilares

Os pilares têm a função receber as cargas da superestrutura e repassar para a fundação. Além das cargas da superestrutura também existem outras ações agem sobre os pilares tais como os ventos, sismo e a vezes empuxos.

Para a ligação do pilar ao tabuleiro é necessário o uso de aparelho de apoio. Este aparelho pode variar a depender da altura, da rigidez e centro de gravidade da estrutura. O aparelho pode ser fixo (impedindo deslocamento), deslizantes sobre teflon (permite deslocamento em uma ou duas direções).

2.2.3 Encontros

Os encontros são elementos estruturais que fazem a ligação da obra de arte com a via, tem a função idêntica a do pilar de suportar a carga da superestrutura e transmitir para a fundação. Também tem a finalidade de suportar os empuxos do terreno da via.

Segundo Gomes (2006) os encontros têm o papel importante na segurança da estrutura em relação a deformações que ocorrem em uma obra de arte como, por exemplo, a dilatação dos tabuleiros ou deslizamento dos apoios. Na Figura 2.9 seguir apresenta dois tipos de encontros.

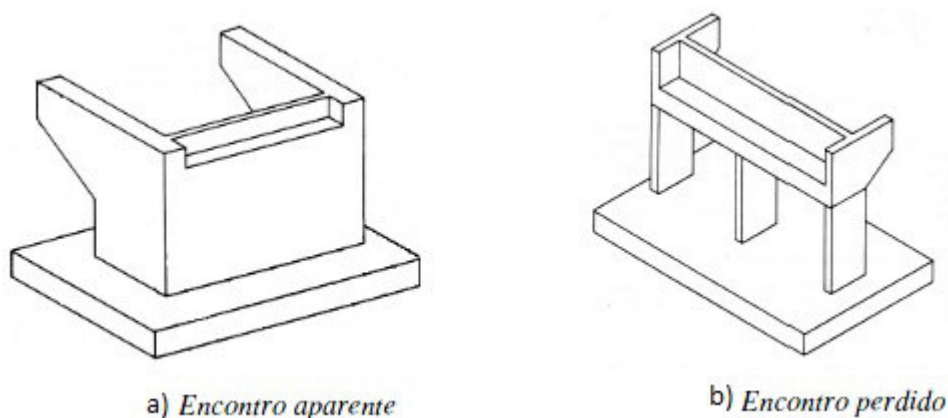


Figura 2.9 - Modelos de encontro (Costa, 2009)

2.2.4 Fundações

As fundações representam a parte da infraestrutura da obra de arte. A fundação recebe os esforços dos pilares ou dos encontros repassando para o solo.

A fundação é determinada pela carga solicitada na estrutura e pelo estudo do tipo de solo. Os sistemas que podem ser adotados para fundação são:

- Sistema de tubulões;
- Sistema de blocos de concreto com estacas;
- Sistemas de sapatas.

2.2.5 Aparelhos de apoio

Os aparelhos de apoio podem ser definidos como dispositivos que fazem transição dos esforços entre a superestrutura para mesoestrutura ou infraestrutura (DNIT, 2006).

Suas principais funções são:

- Transmitir as cargas da superestrutura à mesoestrutura ou infraestrutura;
- Permitir os movimentos da superestrutura, devido a expansão e retração da própria superestrutura provocado principalmente pela variação temperatura;
- Permitir as rotações da superestrutura, devido deflexões provocadas pela carga permanente e cargas acidentais.

Há vários tipos de aparelhos, mas podemos definir três tipos segundo as articulações. As articulações fixas (apenas permite movimentação de rotação), articulações móveis (permite rotação e translação) e articulações elásticas (permite também rotação e translação).

A Figura 2.10 a seguir apresenta exemplos de tipos aparelhos de apoio utilizados.

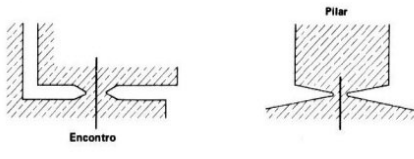
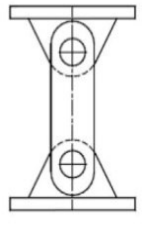
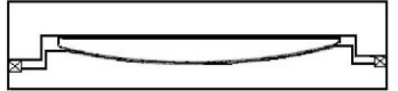
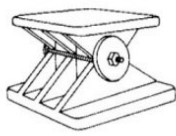
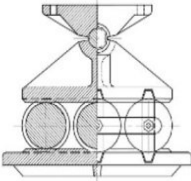
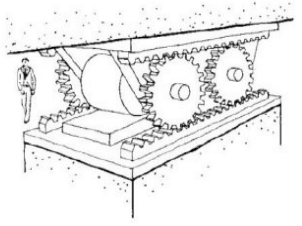


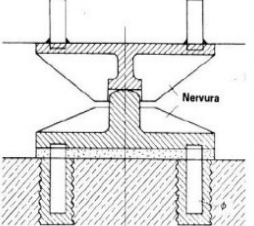
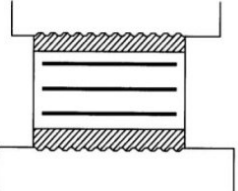
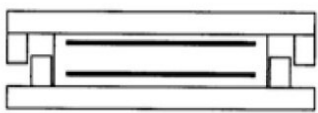
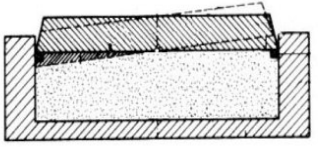
 <p>Tipo 1 – Articulações de betão</p>	 <p>Tipo 2 – AA metálico de pêndulo ou balanceiro</p>	 <p>Tipo 3 – AA Metálicos de calote esférica ou cilíndrica – tipo “Pot-bearing”</p>
 <p>Tipo 4 – AA Metálicos de rolo ou roletes (fixos)</p>	 <p>Tipo 4 – AA Metálicos de roletes múltiplos</p>	 <p>Tipo 4 – AA metálicos de rolete com dentes de guiamento</p>
 <p>Tipo 5 – AA metálicos de contacto linear</p>	 <p>Tipo 5 – AA metálicos de contacto linear</p>	 <p>Tipo 5 – AA metálicos de contacto linear</p>
 <p>Tipo 6 – AA elastômeros ou de Neoprene Cintado</p>	 <p>Tipo 7 – AA elastômeros ou de Neoprene Cintado, deslizante longitudinalmente sobre teflon</p>	 <p>Tipo 8 – AA de neoprene em caixa fixa, com elastômero e aço – tipo panela</p>

Figura 2.10 - Tipos de aparelhos de apoio (Costa, 2009)

2.2.6 Juntas de dilatação

As estruturas são constituídas por diversos elementos que variam segundo os tipos de materiais e suas dinâmicas. Uma boa estrutura implica o uso de juntas para garantir um bom funcionamento. As juntas são mecanismo de descontinuidade estrutural e tem a função básica de permitir a movimentação dos elementos estruturais de forma independente sem que o funcionamento e segurança da estrutura sejam comprometidos.

Nas pontes se localiza normalmente no encontro do tabuleiro com a via e em pontes de grande extensão podem ser necessárias entre as peças dos tabuleiros (Reis, 1997).

As juntas são elementos com maior desgaste e por este motivo devem ser projetados para resistir às ações dinâmicas como a passagem do trânsito e de agentes atmosféricos (Lima, 2006).

A Figura 2.11 apresenta alguns exemplos de junta de dilatação.

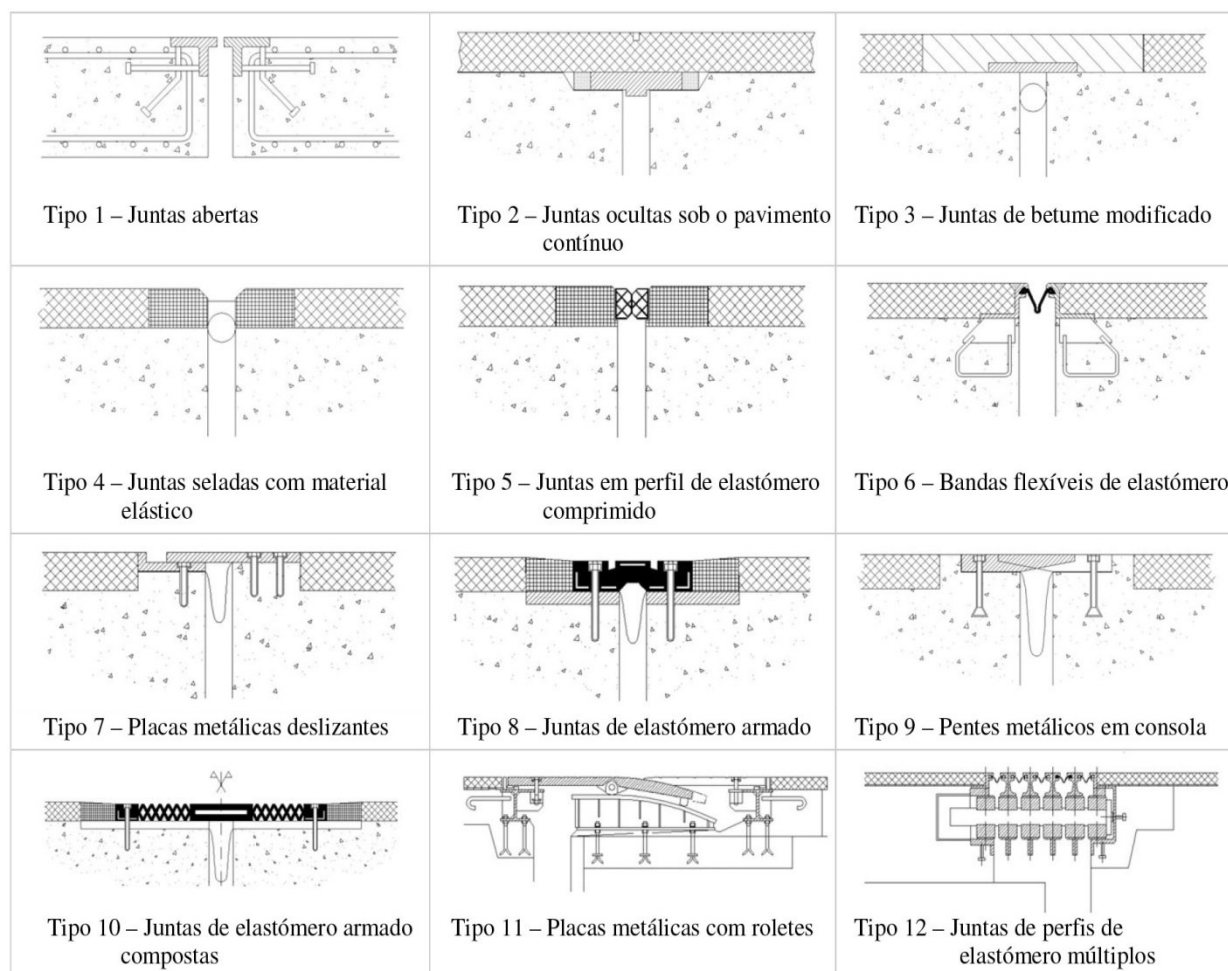


Figura 2.11 - Tipos de juntas (Lima, 2006)

2.2.7 Órgão de drenagem

Os órgãos de drenagens têm a função de recolher as águas da superfície. Quando há falta ou má execução deste componente a durabilidade da estrutura fica comprometida (Manual de inspeção de pontes rodoviárias, 2004).

2.3 CICLO DE VIDA DA OBRA DE ARTE

Qualquer obra de engenharia deve garantir as condições de estabilidade e durabilidade para um período de vida desejado. Para que isso seja garantido, durante todos os processos, desde a concepção até a sua utilização, é necessário que se mantenha um padrão de qualidade.

As obras em geral possuem um ciclo de vida que se divide em 4 fases: concepção, construção, exploração e demolição.

A concepção representa o processo de definição da estrutura. Os projetos devem prevenir o surgimento de anomalias e assim contribuir para a sua vida útil. Para tanto, segundo Costa (2009), o projeto deve analisar e estabelecer os seguintes aspetos:

- A natureza e qualidade dos materiais a aplicar;
- A definição dos mecanismos de degradação;
- As disposições construtivas;
- As condições ambientais;
- Prever a realização de inspeções e ações de manutenção e conservação;
- Apresentar especificações técnicas adequadas no sentido de se garantir qualidade na execução.

A fase da construção deve seguir a qualidade da execução definida pelo projeto. Nesta fase os processos de fiscalização assumem um papel importante para o controle da qualidade dos materiais aplicados e da mão-de-obra utilizada, além de verificarem-se as normas dos projetos são cumpridas. A fiscalização evita possíveis problemas nesta fase e ajuda no melhor entendimento dos projetos, prazos e custos.

Na fase de exploração a obra de arte deve realizar suas funções para a qual foi projetada, com todas as condições de serviço e segurança. Para que estes padrões ocorram é necessária a conservação da estrutura e dos equipamentos da obra de arte, com a utilização de sistema de gestão de obras de arte, o qual deve realizar e implementar inspeções periódicas e ações de manutenção.

A última fase da obra é a demolição. Esta fase possui duas opções, i) a demolição completa da obra de arte ou ii) aproveitar alguns aspectos da obra, recuperando-a através da construção de uma estrutura

de reforço ou modificando a função serviço da obra. Para definir a melhor solução devem-se levar em conta alguns fatores como valor histórico da obra e se ainda atende às funções para qual foi feita, bem como o volume de resíduos que vai produzir.

O foco deste trabalho é apresentar uma metodologia de inspeção em obras de arte necessária na fase de exploração pois cumpre importante papel no funcionamento do sistema de gestão de obras de arte.

2.4 SISTEMAS DE GESTÃO DE OBRA DE ARTE

Nos EUA, durante a década de anos 70, surgiram os primeiros sistemas de gestão de obra de arte. A novidade consistia em uma base de dados nacional chamada de National Bridge Inventory (NBI). Com o passar dos anos tal sistema passou a ser implementado em outros países, desenvolver novas técnicas e englobar outras funções além de um banco de dados.

Segundo Almeida (2003) o sistema de gestão de obras em geral tem as seguintes funções:

- Analisar a situação em que se encontram as obras de arte;
- Otimizar a manutenção;
- Diminuir o custo da manutenção;
- Melhorar o aproveitamento do tempo de vida útil da estrutura;
- Garantir a segurança dos utilizadores;
- Garantir níveis suficientes de qualidade e serviço.

A Figura 2.12 apresenta a variação da vida útil de uma estrutura relacionada à sua performance, de acordo com o tempo.

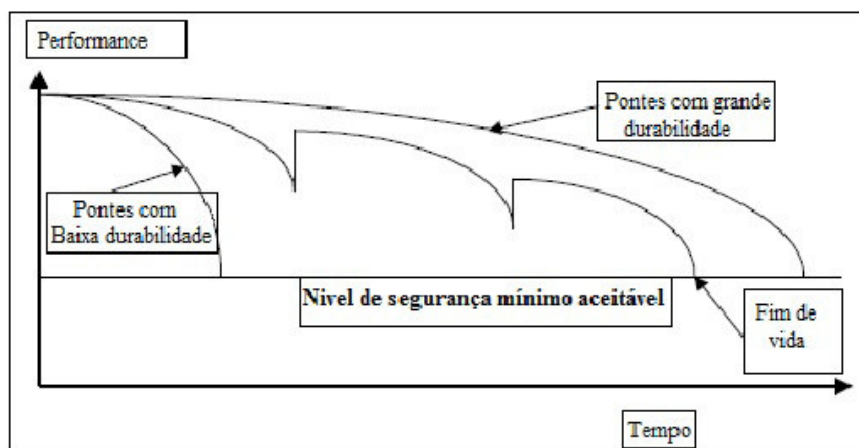


Figura 2.12 - Desempenho de uma Ponte em função do tempo (BRIME, 2002)

As curvas em formato convexo presentes no gráfico representam a deterioração da estrutura pelas ações atuantes durante um período de tempo. As três linhas tem o objetivo de demonstrar a diferença entre desempenho obtido pelas pontes que tiveram planejamento adequado para a durabilidade e as que não tiveram. As obras de arte com algumas manutenções ao longo do tempo podem melhorar sua performance.

Segundo Almeida (2003) um sistema de gestão de obras de arte consiste basicamente em montar uma estratégia de preservação conciliando o aumento da vida útil e dos componentes da estrutura sem grande custo para manutenção.

A Tabela 2.1 apresenta alguns sistemas de gestão de obras de arte nos países europeus e a relação do custo anual de investimento em manutenção das obras com o valor necessário para sua substituição.

Tabela 2.1 - Relação entre o custo de manutenção e substituição das OAEs (BRIME, 2002)

Países	Nº de Obras de Arte	Valor Manutenção Anual (M€)	Valor Substituição (M€)	Rácio VMA/VS (%)
ALEMANHA (Rede Rodoviária Nacional)	34600	318	30000	1,0
BÉLGICA (Estradas de Wallonie)	5000	10	3800	0,3
ESPAÑA (Rede Rodoviária Nacional)	13600	13	4100	0,3
FINLÂNDIA (Rede Rodoviária)	15000	30	2900	1,0
FRANÇA (Rede Rodoviária Nacional)	22000	50	10800	0,5
FRANÇA (Auto-estradas Nacionais)	6000	23	4100	0,6
GRÃ-BRETANHA (Rede Rodoviária Nacional)	9500	225	22500	1,0
IRLÂNDIA (Rede Rodoviária Nacional)	>1800	2,5	450	0,6
NORUEGA (Rede Rodoviária)	17000	37	6000	0,6
SUÉCIA (Rede Rodoviária Nacional)	15000	92	5300	1,7

O sistema de gestão de obras de arte tem a função de identificar as principais deficiências atuais e futuras das obras, facilitando a definição de uma estratégia de manutenção, a estimação de valores e custos necessários. A Figura 2.13 expõe o fluxograma de um sistema de gestão de obras de arte.

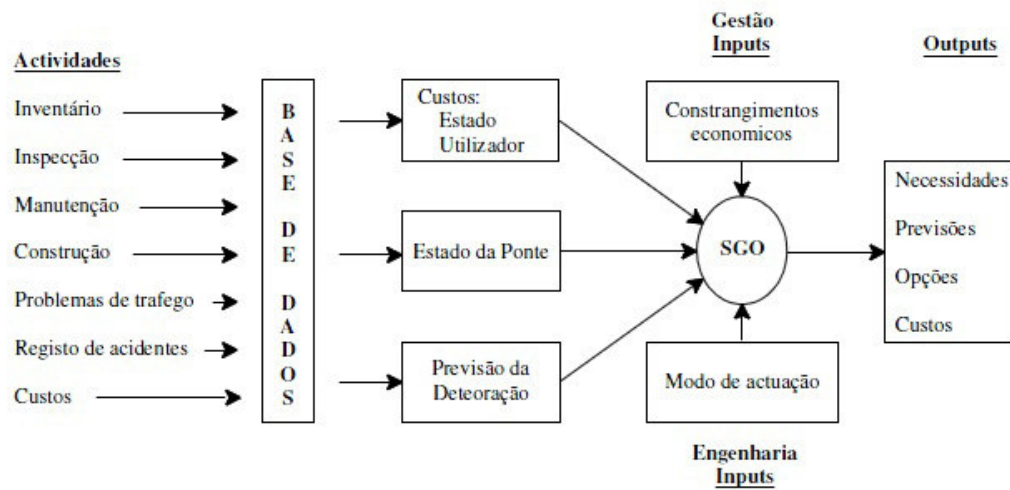


Figura 2.13 - Esquema de um Sistema de Gestão de Obras de Arte (Costa, 2009)

3 MANIFESTAÇÕES DE ANOMALIAS EM OBRA DE ARTE

As obras de engenharia civil no decorrer de sua vida útil interagem com o meio ambiente e diferentes solicitações, sofrendo degradação. Neste capítulo vamos apresentar as principais anomalias nas estruturas de concreto armado. Tais anomalias estão ligadas diretamente à vida útil e a durabilidade da estrutura. O estudo dos tipos de materiais e ambientes que a estrutura está inserida é importante para evitar o seu surgimento.

O conceito de vida útil do concreto pode ser entendido como o período de tempo em que a estrutura é capaz de manter suas características sem a necessidade de uma intervenção, conforme a ANBT NBR 6118:2014. Os projetos têm requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor. Tais prescrições devem ser seguidas para que a vida da estrutura não seja afetada.

Os termos durabilidade e a vida útil da estrutura aparecem sempre relacionados e por isso muitas vezes são confundidos ou usados de maneira incorreta. Uma definição simples destes termos foi usada por Miranda (2014): a durabilidade é uma qualidade da estrutura e vida útil é a quantificação desta qualidade. Podemos dizer, por isso, que qualquer mudança na durabilidade da estrutura afeta diretamente a sua vida útil.

A ANBT NBR 6118:2014 possui seguintes exigências de durabilidade:

“As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.”

Portanto durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas uma função relacionada ao desempenho do material durante seu uso sob determinadas condições ambientais.

Segundo Ferreira (2000) os fatores ambientais e climáticos como a radiação solar, a temperatura, a água e a contaminação de ar e vento são fatores determinantes da deterioração. A importância destes agentes varia de acordo com o clima, a localização geográfica, a altura, a época do ano. Dependendo das propriedades (tipos de materiais) da estrutura estes agentes podem interagir de modo a potencializar os efeitos dos ataques à obra.

Podemos dividir os fatores que afetam a durabilidade das estruturas segundo quatro processos diferentes: os físicos, os químicos, os biológicos e os mecânicos. O trabalho de Ferreira (2000) apresenta Tabela 3.1 esses fatores e processos como aparecem na estrutura.

Tabela 3.1 - Fatores de degradação do concreto (Ferreira, 2000)

Factor de Degradação	Processo	Degradação
Mecânicos		
Carregamento estático	Deformação	Deflexão, fendilhação, rotura
Carregamento cíclico	Fadiga, deformação	Deflexão, fendilhação, rotura
Carregamento por impacto	Fadiga	Vibração, deflexão, fendilhação, rotura
Biológicos		
Micro-organismos	Produção de ácido	Lixiviação
Bactéria	Produção de ácido	Lixiviação
Químicos		
Água pura	Lixiviação	Desagregação do betão
Ácido	Lixiviação	Desagregação do betão
Ácido e gases ácido	Neutralização	Despassivação do aço
Dióxido de carbono	Carbonatação	Despassivação do aço
Cloretos	Penetração, destruição de camada de passivação	Despassivação do aço
Despassivação do aço + H_2O + O_2	Corrosão	Expansão do aço, perda de \varnothing e de aderência
Tensão + cloretos	Corrosão do aço	Rotura dos tendões de pré-esforço
Sulfatos	Pressão dos cristais	Desagregação do betão
Agregado(silica) + álcalis	Reacção da sílica	Expansão, desagregação
Agregado(carbonato) + álcalis	Reacção do carbonato	Expansão, desagregação
Físicos		
Variação de temperatura	Expansão/Contração	Deformação restringida
Variação de humidade	Retração e expansão	Deformação restringida
Baixa temperatura + água	Formação de gelo	Desagregação do betão
Sal descongelante + geada	Transferência de calor	Destacamento do betão
Gelo (mar)	Abrasão	Destacamento, fendilhação
Trânsito	Abrasão	Desgaste, e rotura
Água corrente	Erosão	Danos superficiais
Água turbulenta	Cavitação	Cavidades

3.1 ORIGEM DAS ANOMALIAS

Em geral as anomalias em pontes são originadas dos seguintes fatores:

- Erros de projeto;
- Má execução durante a fase de construção;
- Má qualidade dos materiais;
- Ataque de ambientes agressivos;
- Modificações nas condições de exploração ou aumento das cargas rodoviárias;
- Acidentes por grandes impactos;

A Figura 3.1 esquematiza os fatores que podem afetar o funcionamento ou a durabilidade de uma ponte.

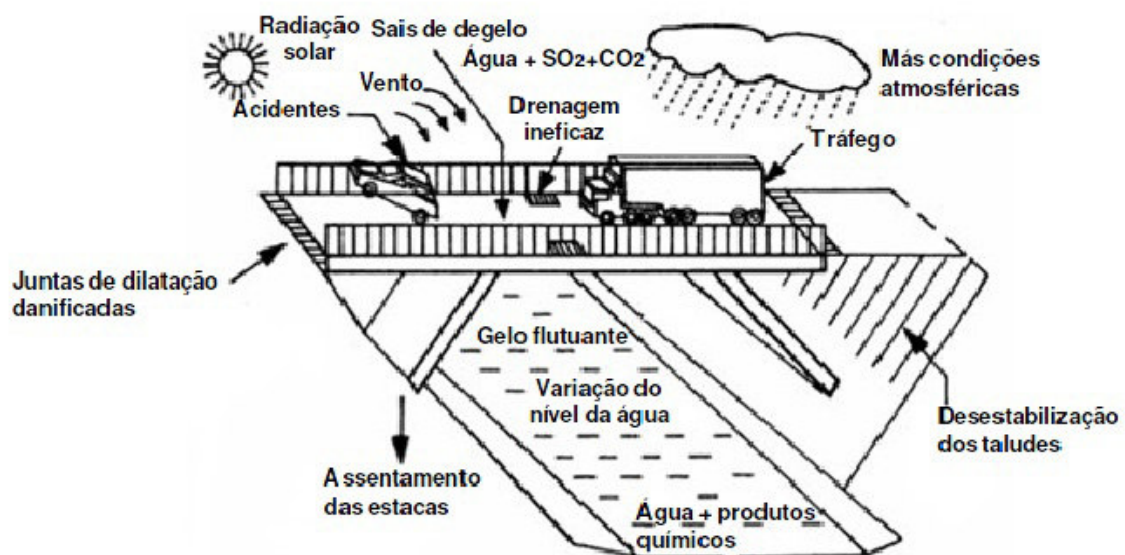


Figura 3.1 - Fatores que afetam a vida útil de uma ponte (Radomski, 2002)

As anomalias alteram a capacidade de o material desempenhar suas funções. Os sintomas de anomalia podem surgir na estrutura de concreto armado através de fissuração, destacamento, desagregação e corrosão na armadura. Estes sintomas podem surgir isolados ou simultaneamente. Como pode ser visto na Figura 3.2.

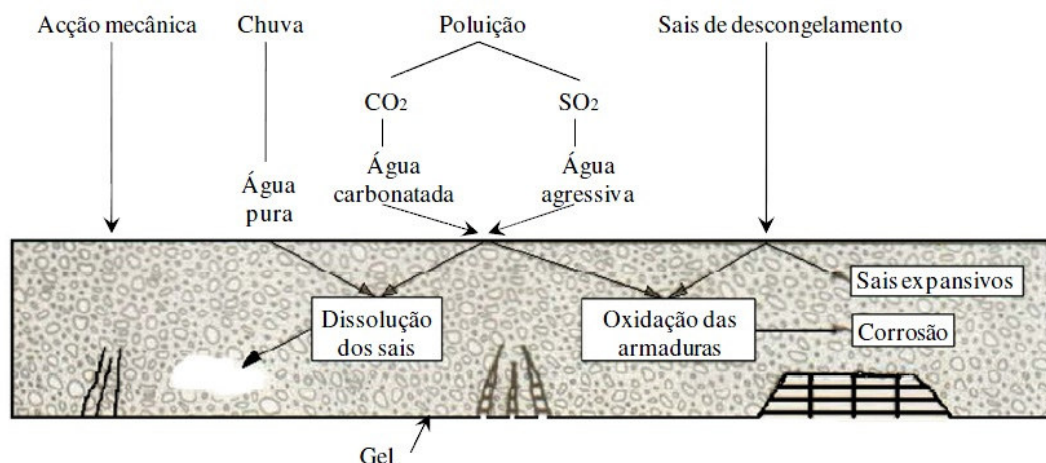


Figura 3.2 - Processo de degradação da estrutura de concreto (Costa, 2009)

As principais causas das anomalias estão associadas às propriedades dos materiais e às agressões exteriores. Tais fenômenos se devem a erros humanos (tráfego, vandalismo, acidentes e etc.) ou ações naturais (origem biológica, física, química). Em geral podemos classificar a origem das anomalias conforme mostra a Figura 3.3.

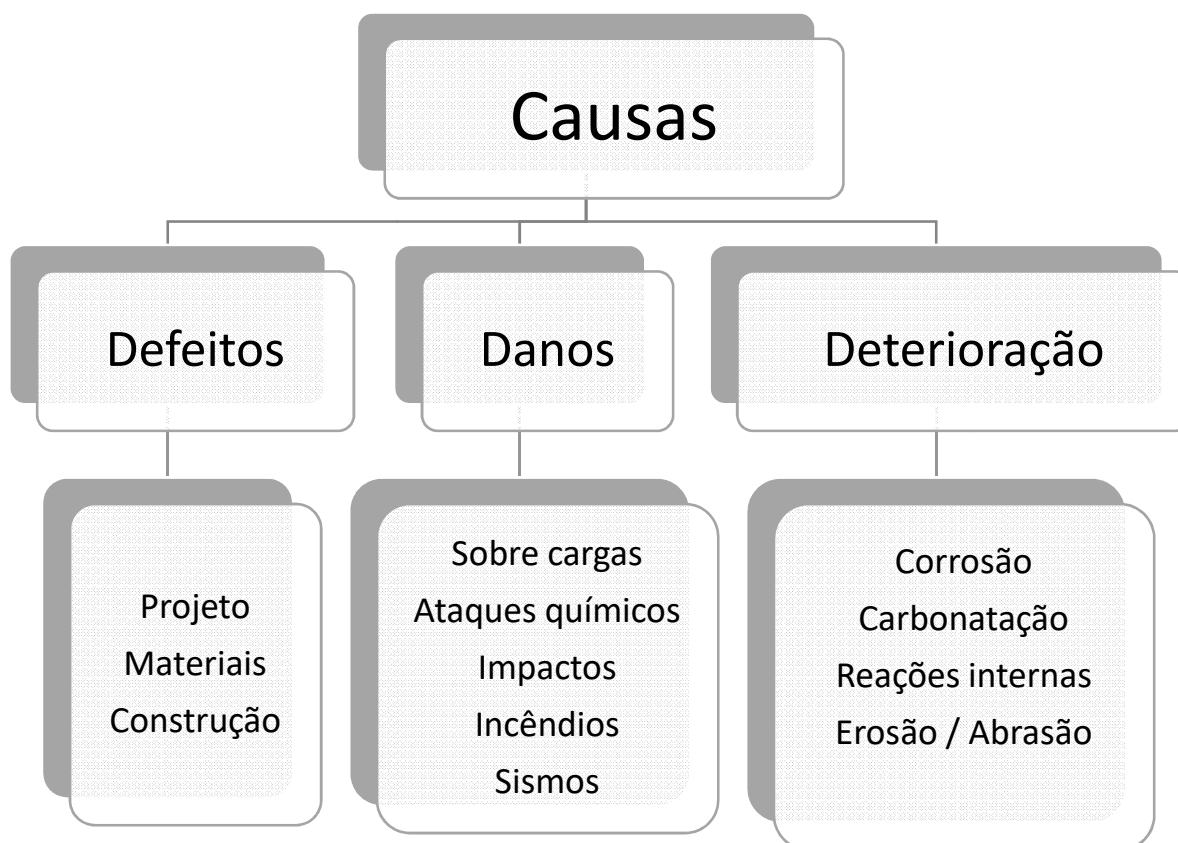


Figura 3.3 - Fatores que podem dar origem ao aparecimento de anomalias (Costa, 2009)

3.1.1 Manifestações de anomalias devido a erros humanos

As anomalias que se apresentam por defeitos nas estruturas são basicamente ocasionadas por erros de projetos, erros na construção ou materiais de baixa qualidade.

Às vezes o modelo de sistema estrutural escolhido no projeto pode ser responsável pela deterioração precoce da obra. Isso acontece pela falta de adaptação do lugar inserido, quando a estrutura é submetida a esforços ou movimentos superiores as que foram dimensionadas. Também por apresentar cantos salientes ou seções muito esbeltas, ausência de impermeabilização, má concepção da drenagem e por não contemplar o meio agressivo que está inserido a obra.

Na fase de execução o emprego de materiais inadequados ou de má qualidade, e a má interpretação dos projetos são responsáveis pelo surgimento de falhas que facilitam o aparecimento de anomalias.

Segundo Costa (2009) as anomalias com origem na execução dos materiais são dos erros mais frequentes. A Tabela 3.2 apresenta as anomalias provenientes de defeitos de construção em estruturas de concreto.

Tabela 3.2 - Patologias provenientes de defeitos de construção (Costa, 2009)

Origem	Consequência	Patologias
Formas de concreto não bem vedadas	Perdas dos agregados finos Segregação	Nicho de concretagem Penetração de água
Formas com deformação de flexão	Perda de resistência	Fissuração
Remoção prematura da forma	Deformação da estrutura	Fissuração
Armaduras má colocadas	Recobrimento insuficiente Perda de resistência	Início de corrosão Fissuração Carbonatação
Má disposição das armaduras	Impulsos no vazio	Fissuração
Inadequada vibração do concreto	Segregação Perda de resistência Concentração de água Sedimentação	Nicho de concretagem Destacamento do concreto Retração Fissuração
Má cura	Secagem rápida	Fissuração
Concreto de má qualidade Má execução da obra Recobrimento insuficiente	Penetração de agentes agressivos externos	Corrosão

3.1.2 Manifestações de anomalias devidas ações naturais

Um dos principais fatores de degradação das estruturas são ações externas. Estas ações têm origens físicas, químicas e biológicas.

3.1.2.1 Origens físicas

As anomalias que surgem através de alterações físicas se devem principalmente aos choques térmicos, as fricções e retrações. Podemos classificar origem físicas em ciclos de gelo-degelo, tensões térmicas, ação do fogo, desgaste por abrasão, erosão e cavitação.

Ciclos de gelo-degelo

Quando a estrutura é exposta a baixas temperaturas as porções de água presentes nos poros capilares congelam e se expandem, aplicando no concreto uma pressão de dilatação nos poros, provocando fissuras no concreto e consequentemente a sua deterioração (Ferreira, 2000).

Tensões Térmicas

A variação de temperatura provoca mudanças volumétricas na superfície das estruturas. As contrações, quando resfriadas e a expansão, quando aquecidas, criam tensões de tração e compressão. Quando estas tensões são maiores que a resistência do concreto ocorrem fissuras.

Ação do fogo

Os efeitos do calor no concreto podem ser muito prejudiciais. Quando a estrutura de concreto armado recebe altas temperaturas e sua resistência é afetada, ocorre a mudança de coloração e alterações nas propriedades dos materiais. A Tabela 3.3 a seguir apresenta como agem as temperaturas em uma estrutura de concreto armado.

Tabela 3.3 - Mudanças do concreto armado a altas temperaturas (Lapa, 2008)

Temperatura	Alterações
Acima de 100°C	Água livre ou capilar no concreto começa evaporar.
200°C	Não a mais água no concreto.
300°C	Cor rosa avermelhado Aparecimento das primeiras fissuras Perda de água gel do cimento Perda de resistência em torno de 10%
400°C	Hidróxido de cálcio presente da hidratação dos silicatos se transforma em cal viva
500°C	O aço exposto a esta temperatura diminui seu limite elástico e sua tensão de ruptura
600°C	Os agregados começam se expandirem com diferentes intensidades, provocando tensões internas provocando a desagregação do concreto Perda de 50% da resistência do concreto
600°C a 950°C	Cor cinza com pontos vermelhos
950°C a 1000°C	Cor amarelo alaranjado O concreto começa a sinterizar-se
A partir 1000°C	O concreto sofre sinterização, virando um material calcinado, mole e sem resistência

Segundo Lapa (2008) a porosidade e mineralogia dos agregados influenciam o comportamento do concreto exposto a altas temperaturas. O concreto com boa granulometria comporta-se melhor sobre efeitos de calor.

Desgaste por abrasão, erosão e cavitação

Os desgastes acontecem na superfície do concreto onde materiais da camada externa são retirados por atrito. Com o passar do tempo surgem segregações e fissuras superficiais no concreto, como pode ser visto na Figura 3.4.

O desgaste por abrasão se deve ao atrito seco na superfície da estrutura com uma perda gradual e continuada de argamassa e de agregados.

A erosão acontece quando um fluido em movimentação, ar ou água contendo partículas em suspensão, atua sobre a superfície de concreto com ações de colisão. O escorregamento ou rolagem das partículas podem provocar um desgaste da superfície.

A cavitação é causada pela implosão de bolhas de vapor de água quando a velocidade ou direção de escoamento sofrem mudanças bruscas. Esse processo provoca desgaste irregular da superfície do concreto, deixando uma aparência irregular diferente da superfície desgastada por erosão.



Figura 3.4 - Desgaste: a) abrasão do concreto b) Cavitação do concreto (Vitório, 2015)

3.1.2.2 Origens biológicas

Os microrganismos contribuem para a degradação do concreto. Segundo Lapa (2008), o concreto é um material bioreceptivo aos ataques biológicos. Tal efeito acontece em condições oferecidas pela concreto, como rugosidade, porosidade, umidade e composição química. Combinadas com as condições ambientais, como umidade, temperatura e luminosidade, essas características podem promover ações de microrganismos.

Os microrganismos podem atuar sobre a pasta de cimento e os agregados interferindo em sua estética, reduzindo sua durabilidade e comprometendo suas integridades.

As formas mais comuns de ataques biológicos são o crescimento de raízes de plantas, algas e fungos em fendas ou zonas porosas do concreto. Estes ataques originam forças expansivas ou reações químicas com matérias do concreto. Também facilitam o transporte de outros agentes agressivos para interiores da estrutura.

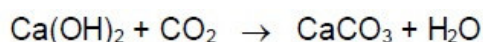
3.1.2.3 Origens Químicas

O concreto é atacado por muitas soluções ácidas e sais presentes no meio ambiente. Reações químicas entre tais soluções e a pasta do cimento ou agregados constituintes podem acarretar degradação do concreto.

Segundo Ferreira (2000), as reações químicas se manifestam através de efeitos físicos nocivos como fissuração, porosidade e permeabilidade do concreto, diminuição da resistência e destacamento. Atenção especial deve ser dada a carbonatação, ataques de sulfetos, ataques de cloretos e reações alcalis-agregado. Estes fenômenos são responsáveis pela deterioração de grande número de estruturas.

Carbonatação

A carbonatação é basicamente uma reação entre o dióxido de carbono (CO₂) do ar e o hidróxido de cálcio resultante da hidratação do cimento, produzindo o carbonato de cálcio.



A ação do CO₂ sobre o concreto é complexa porque não se limita ao hidróxido de cálcio. O dióxido de carbono ataca também todos os produtos da hidratação do cimento. A reação mais comum e importante é a que acontece com hidróxido de cálcio (Lapa, 2008).

O desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratada e sua transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução de 12,5 para 9,4, fator importante para início da corrosão das armaduras.

A velocidade do processo de difusão de CO₂ no concreto é função da umidade relativa, do tempo, da relação de água/cimento, do tipo de cimento, da permeabilidade e da cura do concreto. A carbonatação ocorre com maior facilidade quando o concreto se encontra com 60% umidade, e quando se encontra seco ou saturado a carbonatação reduz (Souza, 2005). A Figura 3.5 representa ação de CO₂ nos poros do concreto.

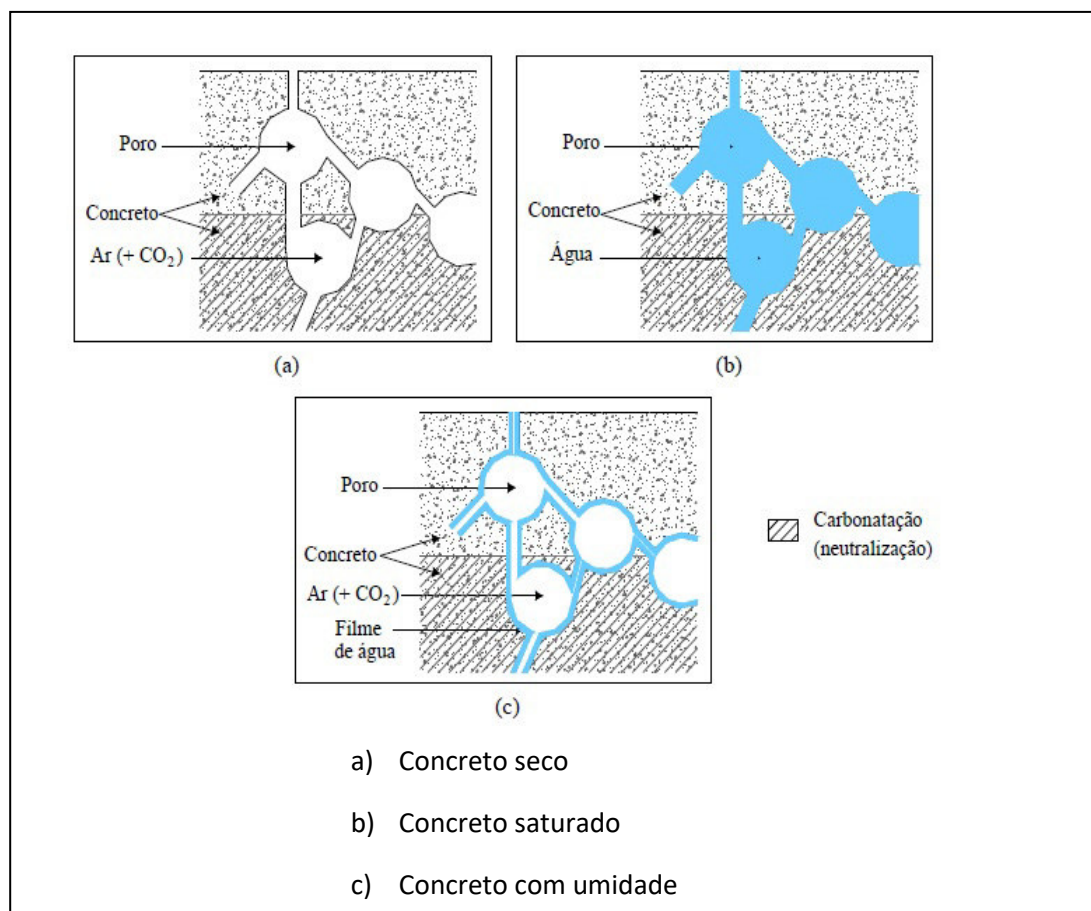


Figura 3.5 - Ação de CO_2 nos poros do concreto (SOUZA, 2005)

O aumento da relação de água/cimento e permeabilidade também aumentam a velocidade e profundidade da carbonatação, pois facilitam a difusão do CO_2 no concreto. Concretos com menor porosidade e permeabilidade dificultam a difusão do CO_2 .

Ataques de cloretos

Os cloretos são apontados em muitas literaturas como o principal causador da corrosão das armaduras do concreto. Os cloretos têm diversas origens, como no uso de aceleradores de pega compostos de CaCl_2 , impurezas na água de amassantes e nos agregados, água do mar e maresia, sais de gelo e processos industriais (Lapa, 2008).

O gráfico da Figura 3.6 demonstra o aumento do risco de corrosão pelo ambiente contaminado com cloretos em relação à umidade relativa.

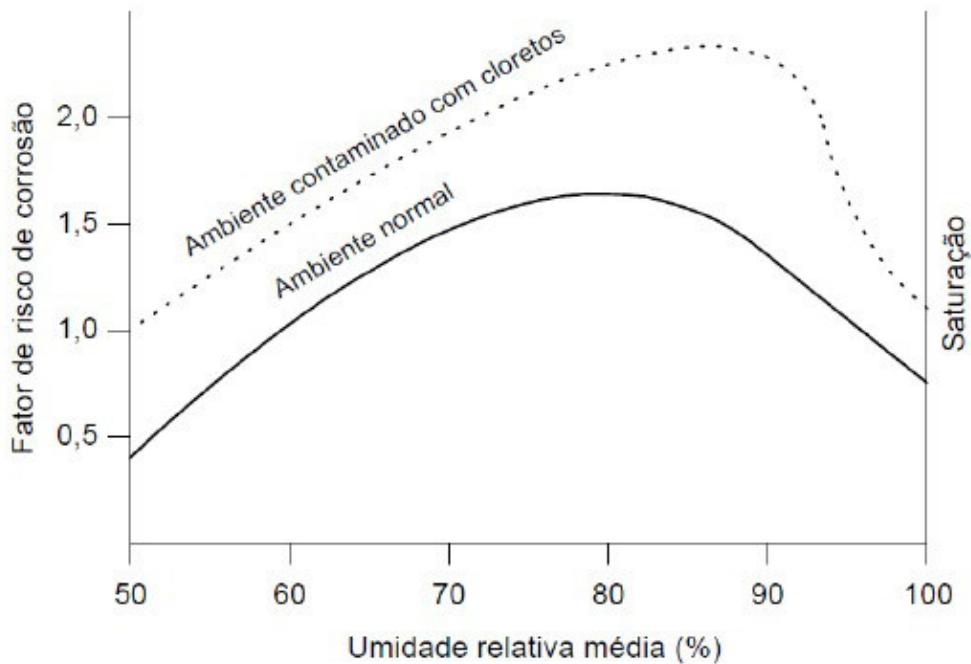


Figura 3.6 - Fatores de risco de corrosão (Miranda, 2014)

Os parâmetros que influenciam a penetração de cloretos são basicamente os mesmos para penetração da carbonatação: o tipo de cimento, porosidade, permeabilidade, relação água/cimento e a cura do concreto.

Segundo Lapa (2008), os efeitos do cloreto junto com a carbonatação aceleram o processo da corrosão das armaduras. Isso pode ser muito comum já que as duas ações possuem fatores parecidos para facilitar a suas ações.

Um dos efeitos da carbonatação é alteração do pH e esta ação facilita o ataque dos cloretos à armadura. Foi demonstrado em ensaios, segundo Lapa (2008), que é necessário um nível de 8000 ppm de íons de cloretos em pH 13,2 para iniciar os ataques a armaduras, mas quando o pH cai para 11,6 é necessário 71 ppm de íons de cloretos para que ocorra a corrosão.

Ataques de sulfatos

Os sulfatos podem ter origem nos materiais presentes no concreto ou nos agentes externos como água e solos ricos nesta substância. O ataque dos sulfatos produz ação expansiva e gera tensões capazes de formar fissuras no concreto. No ataque, os íons do sulfato reagem com hidróxido de cálcio ou aluminato tri-cálcio (C3A), originando etringita e o gesso. Estas formações causam tensões de expansão e eliminam a pasta de cimento.

Os sulfatos podem penetrar desde exterior por difusão iônica ou por secção capilar. São encontrados na água do mar, em águas subterrâneas e em solos. Os fatores que contribuem para ação dos ataques de

sulfatos são a relação água/cimento, o uso de cimento com alto teor de aluminato tri-calcio (C3A) (Lapa,2008).

Reação alcali-agregado

A reação álcali-agregado cria expansões causando fissuras nas estruturas de concreto. Isto se deve a reação química que acontece entre os álcalis do cimento ou agregados com sílica de certos agregados reativos.

Os fatores que contribuem para esta reação é presença de sílica reativa nos agregados, um teor elevado de álcalis e existência de um ambiente úmido. O concreto sob-reação álcali-agregados exibe em uma superfície um mapa de fissura como apresenta a Figura 3.7.



Figura 3.7 - Reação álcalis-sílica (Costa, 2009)

3.1.3 Corrosão

A corrosão das armaduras é a principal causa que leva aos problemas de durabilidade da estrutura. Quando isso acontece é sempre necessário o início de reparos (Lapa,2008).

As armaduras sempre são protegidas por recobrimento do concreto. Este concreto deve ter um ph entre 12 a 13. Quando o ph abaixa para valores inferiores a 9, há uma maior probabilidade da ocorrência de corrosão. Isso acontece pela presença de umidade, gases ácidos e fuligem (Costa,2009).

Entre as anomalias responsáveis pela corrosão duas se destacam: são a carbonatação e ataques dos cloretos. Em ambientes agressivos deve-se tomar o maior cuidado, por esses motivos nas normas a espessura de recobrimento da armadura varia, dependendo do ambiente e tipo de estrutura ou de elemento estrutural. A Tabela 3.4 apresenta a espessura do recobrimento que deve ser adotado segundo a NBR-6118.

Tabela 3.4 - Cobrimento da armadura (NBR 6118)

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$					
Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15 \text{ mm}$.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45 \text{ mm}$.

A corrosão de armaduras pode ser classificada como corrosão generalizada por puntiforme ou sobtensões. Pode se manifestar através de reação química ou eletroquímica.

O processo de corrosão em geral é acompanhado por um aumento de volume responsável pelo surgimento de fissuras e expansão da corrosão. Com o tempo esse processo leva ao destacamento do concreto de recobrimento. Como pode ser visto na Figura 3.8.

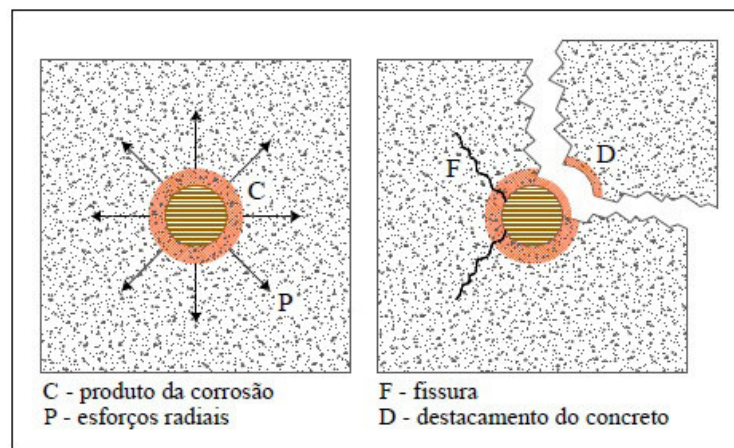


Figura 3.8 - Aumento do volume do aço, provocado pela corrosão (SOUZA, 2005)

Quando armadura fica exposta ao ambiente a probabilidade de ocorrência da corrosão se eleva, principalmente se o meio for agressivo com umidade alta, cloretos e sulfetos. O processo de corrosão nitidamente visível apresenta uma coloração vermelho-marrom-acastanhado. Como pode ser visto na Figura 3.9 e Figura 3.10.



Figura 3.9 - Corrosão da armadura (Vitório, 2015)



Figura 3.10 - Corrosão da armadura (Vitório, 2015)

Conforme o documento apresentado por (HERANI 2012) as ocorrências de corrosão tem como principais motivos:

- Recobrimento insuficiente da armadura;
- Concreto poroso;
- Fissuração;
- Segregação, erosão do concreto;
- Utilização de aditivos a base de cloretos ou outros agentes químicos;
- Deterioração do material do concreto;
- Falta de preenchimento na ancoragem;
- Injeção incompleta da bainha.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS DE ANOMALIAS

Segundo Costa (2009), a classificação das anomalias por famílias nem sempre é uma tarefa fácil, pois diferentes tipos de anomalias sempre estão interligadas. Neste trabalho foi definindo o critério de aparecimento, que pode definir 3 modelos: comportamento não estrutural, comportamento estrutural ou falhas nos materiais constituintes.

3.2.1 Patologias de Comportamento não estrutural

As anomalias que surgem do comportamento não estrutural se manifestam através da falta de manutenção ou reparos na obra. Problemas ocasionados por este tipo de anomalia são de reparos mais simples e rápidos e não geram problemas na estrutura quando resolvidos em curto prazo.

Quando estas anomalias não são corretamente cuidadas podem contribuir com o surgimento de outros problemas mais sérios, afetando a estrutura.

Podemos definir em três tipos:

- **Tipo 1** - Vegetação / poluição biológica
- **Tipo 2** - Manchas de umidade
- **Tipo 3** - Existência de restos de elementos construtivos

Vegetação / poluição biológica

Este tipo de anomalia acontece pela presença de água, a inexistência ou obstrução dos órgãos drenagem, presenças de animais e falta de limpeza. Pode provocar e facilitar ataques químicos de micro-organismos na estrutura e danificar elementos da construção. Como pode ser visto na Figura 3.11.



Figura 3.11 - Patologias por vegetação (Vitório, 2015)

Manchas de umidade

A umidade é o principal reagente na estrutura de concreto armado para surgimento de anomalias. A presença de umidade no concreto ajuda a acelerar o transporte e reação de agentes externos com propriedades do concreto. A umidade da origem a diferentes tipos de anomalias, como corrosão da armadura, carbonatação, ataques de cloretos etc.

A infiltração pode ocorrer através dos poros do concreto, fissuras, falhas ou aberturas na superfície. A ocorrência das infiltrações na estrutura está relacionada a falhas no sistema de drenagem, contato da água em locais da superfície do concreto não impermeabilizado e eventuais vazamentos de tubulações. Como pode ser visto na Figura 3.12.



Figura 3.12 - Patologias por umidade (Manual de inspeção de pontes rodoviárias. 2004)

3.2.2 Patologias de comportamento estrutural

Patologias de comportamento estrutural são as anomalias que se manifestam na estrutura. São anomalias as quais se deve atenção maior e podem levar ao colapso da obra. Podemos definir em três tipos:

- **Tipo 4** - Fissuras
- **Tipo 5** - Segregação do concreto
- **Tipo 6** -Deterioração da estrutura

Fissuras

As fissuras são fenômenos próprios e inevitáveis do concreto armado. Este fenômeno pode acontecer nas três fases da vida do concreto: plástica, endurecimento e endurecido.

Na fase plástica surge por causa da retração e assentamento, na fase de endurecimento acontece pela movimentação precoce térmica e pela retração do endurecimento. Na fase de endurecido, as principais causas são erros de projeto, de execução, cargas excessivas, ataques de sulfatos no concreto, corrosão das armaduras por ataques de cloretos, a carbonatação e reação alcalinas (Herani, 2012).

As fissuras podem ser classificadas em relação a sua movimentação e podem ser ativas ou passivas. As ativas são originárias da movimentação da estrutura enquanto a passiva estão relacionadas a outras ações.

Conforme o manual técnico ABECE (2005) as dimensões da abertura das fissuras determinam um nível de alerta. As aberturas entre 0,05mm a 0,3mm são consideradas normais, entre 0,3 a 0,7mm considera-se de atenção de risco e maiores que 0,7mm consider-se nível crítico.

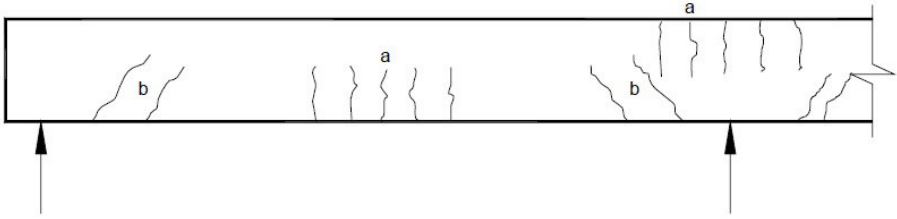
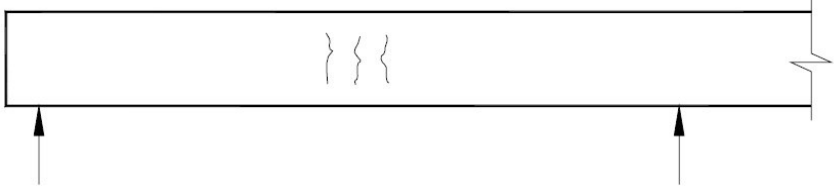
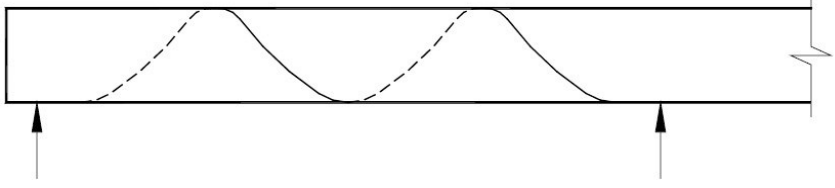
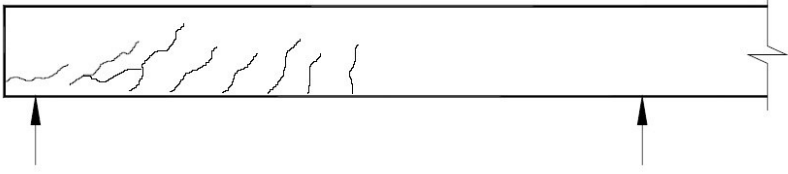
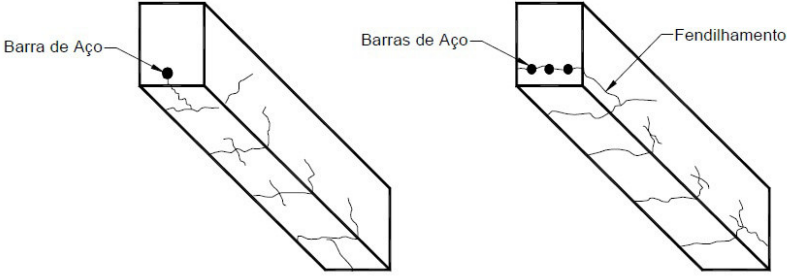
A Tabela 3.5 descreve os principais tipos de fissuras e seus motivos para surgimento, baseado ABECE (2005). As ilustrações da

Tabela 3.6, representam os tipos de fissuras que podem surgir em uma estrutura de concreto e foram retiradas do Manual de inspeção de pontes rodoviárias (2004).

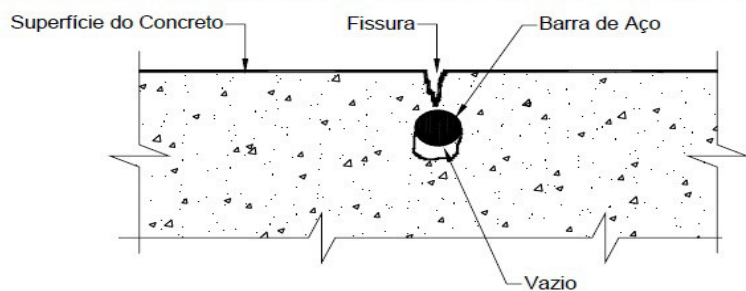
Tabela 3.5 - Principais fissuras (ABECE)

Fissuras	motivo
Ação Térmica	variação de temperatura;
	retração e dilatação volumétrica.
Retração Hidráulica	relação água/cimento;
	elementos compouco quantidade de aço de retração;
	secagem prematura do concreto;
	excesso de cimento ou finos;
	excesso de vibração.
Reação Álcali-Agregado	concentração de álcalis nos aglomerantes > 0,6;
	umidade relativa do ambiente > 75%;
	agregados com Sílica;
	silicato ou carbonato reativo;
	expansão e geração de tensões internas.
Reação com Sulfatos	interação do sulfato com os hidroxidos de calcio livres;
	interação do sulfato com os aluminatos de cálcio hidratados;
	formação de gipsita;
	aumento de volume dos sólidos.
Carbontação	penetração do CO ₂ da atmosfera no cocreto através porosidade;
	presença de umidade nos poros do concreto;
	reação do CO ₂ com os componetes alaclinos.
Ataque de cloretos	O cloretos no concreto por contaminação de agregado;
	aditivo de base CaCl ₂ ;
	meio externo marinho;
	Combinação de cloretos com aluminatos de cimento.
Ação da água do mar	impactos das ondas do mar;
	ciclos alternados de molhagem e secagem;
	ação de cloretos e sulfatos.
Ação de cargas externas	impacto;
	compressão;
	flexão;
	cortante;
	torção;
	momento torsor.

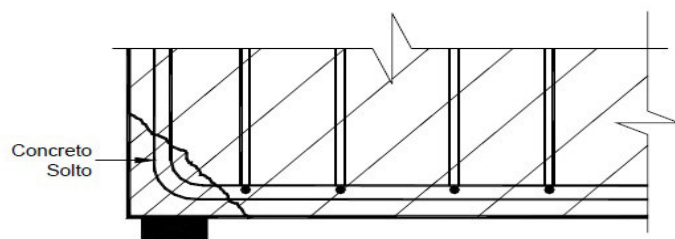
Tabela 3.6 - Principais tipos de fissuras na estrutura de concreto (MANUAL DE INSPEÇÃO DE PONTES RODOVIÁRIAS, 2004).

<p>Fissuras de Flexão e Cisalhamento</p>  <p>a - Fissuras de Flexão b - Fissuras de Cisalhamento</p>
<p>Fissuras de Retração e Temperatura</p>  <p>Fissuras de Torção</p> 
<p>Fissuras por Perda de Aderência e Colapso da Ancoragem da Armadura</p>  <p>Fissuras por Corrosão de Armaduras</p> 

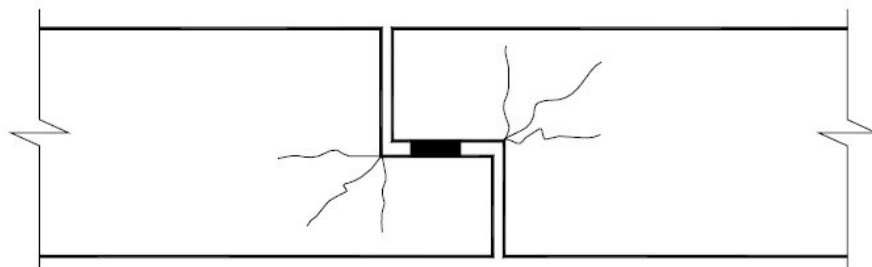
Fissuras por Formação de Espaços Vazios ou Poros sob Barras Horizontais



Trincas de Ruptura Frágil em Apoios Extremos Mal Posicionados



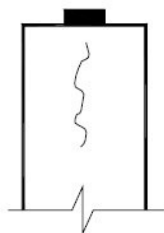
Fissuras e/ou Trincas em Dentes de Articulação: Dependendo da gravidade, há riscos de ruptura frágil



Pilares Isolados e Parcialmente Carregados

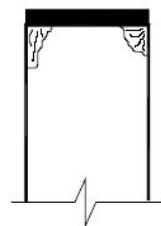
Seção Longitudinal

Fissuras por Deficiência de Fretagem

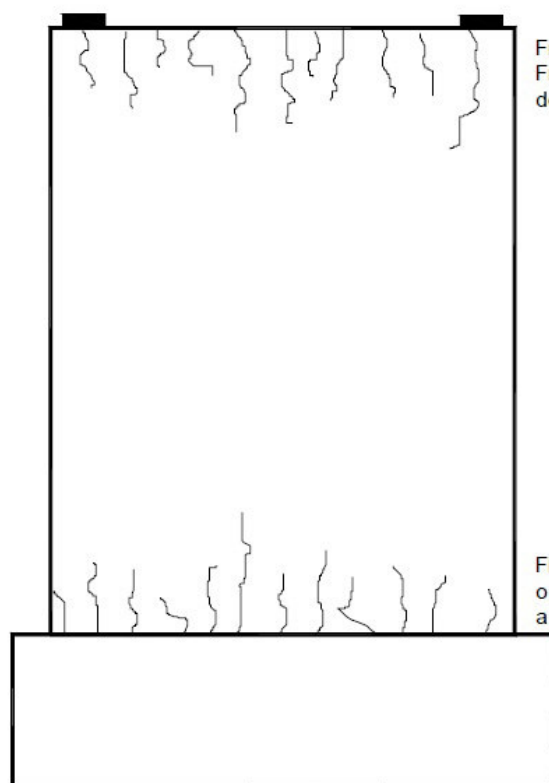


Seção Transversal

Quebra de Cantos por Falta de Folgas entre Extremidades de Placas e Pilares



Pilares Parede e Parcialmente Carregados

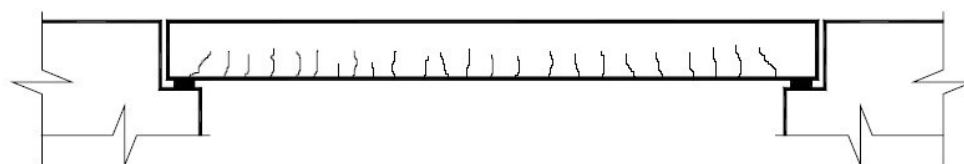


Fissuras por Insuficiência ou Ausência de Fretagem e Armadura de Tração no Topo do Pilar

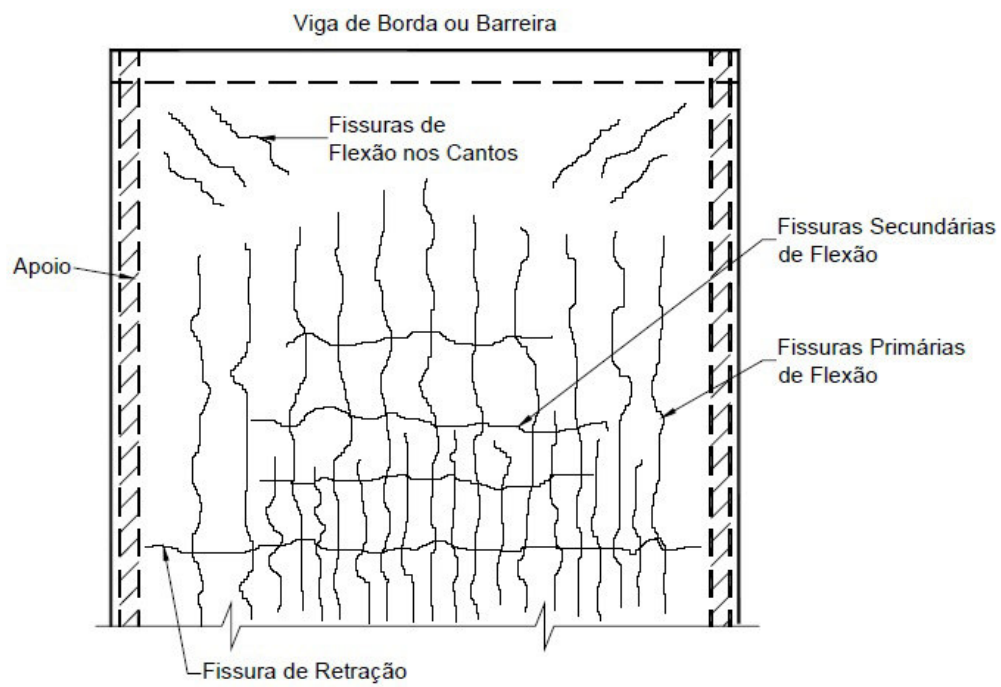
Fissuras de Defasagens de Concretagem: o concreto mais antigo do bloco restringe a retração do pilar

LAJE ARMADA EM UMA DIREÇÃO

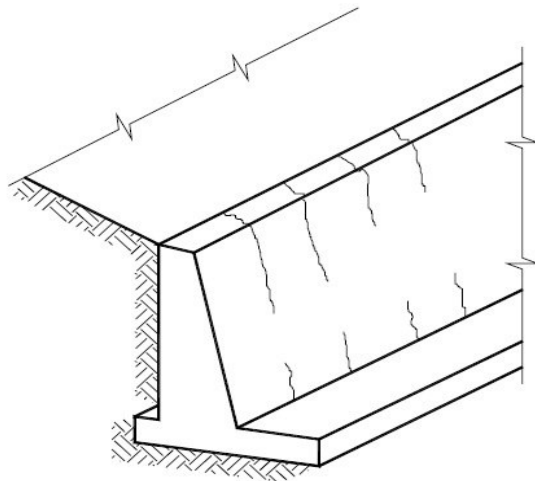
Seção Longitudinal



Planta



FISSURAS TÍPICAS DE RETRAÇÃO EM MUROS DE ARRIMO



Segregação do concreto

Segregação do concreto é um fenômeno que ocorre quando não há uma mistura homogênea do concreto e resulta no acúmulo ou na falta de um tipo de agregado. É decorrente de falhas na execução. A segregação é avaliada através de sua profundidade.

Quando a segregação for superficial e a falha na argamassa se concentrar na superfície, não apresentando o aparecimento dos agregados graúdos, o nível de risco é baixo. Grandes falhas na superfície com aparecimento dos agregados graúdos indicam um risco médio. Quando esta é mais profunda, com desprendimento dos agregados graúdos ou a visibilidade da armadura, considera-se nível de risco alto para durabilidade da estrutura.

O concreto segregado ocorre com maior frequência nas seguintes regiões dos elementos estruturais:

- Junto à base (de pilares, paredes e elementos estruturais verticais);
- Junto à face inferior (de vigas, lajes e elementos estruturais horizontais);
- Em junta de concretagem;
- Em junta de dilatação;
- Em junção de elementos.



Figura 3.13 - Segregação do concreto (Manual De Inspeção De Pontes Rodoviárias, 2004).

Deterioração da estrutura

A deterioração da estrutura corresponde aos ataques que sofrem o concreto e a armadura com o passar do tempo. Estes ataques dependem ações externas, como ataque do meio, impactos e sobrecargas na estrutura.

A deterioração está relacionada as propriedades dos materiais constituintes e suas alterações. A resistência da estrutura pode ser reduzida a partir de mudanças nas propriedades do concreto e na corrosão da armadura.

As anomalias podem se manifestar de várias formas desde mudanças de coloração e aspecto no concreto até escamação, desgaste, desintegração, descasque e esmagamento, como pode ser observado na Figura 3.14.



Figura 3.14 - Deterioração da estrutura (Manual De Inspeção De Pontes Rodoviárias, 2004).

3.2.3 Falhas nos materiais constituintes

As falhas nos materiais constituintes são anomalias que surgem em elementos da obra. Estas falhas podem corresponder diretamente ou indiretamente a problemas na durabilidade, qualidade, ou na segurança de uso de determinada estrutura.

Podemos definir três tipos:

- **Tipo 7** - Aparelhos de apoio
- **Tipo 8** - Juntas de dilatação
- **Tipo 9** - Outros elementos (órgãos de drenagem, guarda corpos, guarda de segurança, revestimento das vias e passeios, taludes, etc.)

Aparelhos de apoio

Os aparelhos de apoio são elementos fundamentais para transmissão de reações da superestrutura para mesoestrutura ou infraestrutura. A ocorrência de anomalias nos aparelhos de apoio podem causar danos à obra.

São elementos estruturais muitas vezes difíceis de serem inspecionados em virtude de sua localização. As possíveis causas para seus problemas dependem do tipo de material, tipo de movimento, problemas de fábrica, tempo de uso, má colocação, falta de manutenção ou conservação, ações naturais ou acidentais.

Para caracterizar as principais anomalias de aparelhos de apoio resume-se na Tabela 3.7 os principais tipos de aparelhos e as respectivas anomalias e causas possíveis.

Tabela 3.7 - Patologia nos aparelhos de apoio (Costa, 2009)

TIPO AA	PATOLOGIA	CAUSAS PROVÁVEIS
Articulações de betão 	Esmagamento ou fissuração dos cantos dos AA	Deficiente dimensionamento; deficiência de armaduras; Sobrecargas excessivas; acidentes naturais
	Delaminação de betão	Deficiente dimensionamento; corrosão
Metálicos de pêndulo 	Inclinação excessiva ou deficitária dos pêndulos	Deficiente dimensionamento; Sobrecargas excessivas; Deficiente funcionamento; má colocação
	Inclinação diferenciada dos roletes	Sobrecargas excessivas; Defeito pontual; má colocação; ruptura base
Metálico de rolo ou rolete 	Fissuração ou ruptura do rolete	Deficiente dimensionamento; deficiência do material; acidente ou causa natural; corrosão excessiva; Sobrecargas excessivas
	Ovalização/ deformação do rolete	Deficiente dimensionamento; deficiência do material; acidente ou causa natural; corrosão excessiva; Sobrecargas excessivas
	Sair da guia ou tranca do rolete ou rolo	Deficiente dimensionamento; Deficiente funcionamento; má colocação; acidentes naturais
Panela  Metálicos 	Falta de lubrificação	Deficiente manutenção
	Inversão da colocação do aparelho de apoio	Deficiente dimensionamento; má colocação;
Neoprene cintado  Panela  Metálicos 	Corrosão do metal	Deficiente revestimento protecção; deficiência drenagem; Falta manutenção;
	Destacamento dos ferrolhos ou rebites ou parafusos	Deficiente colocação; deficiência do material; Falta manutenção; Sobrecargas excessivas; corrosão
	Desgaste diferenciado do teflon	Deficiência do material; Sobrecargas excessivas; deficiente funcionamento; deficiente dimensionamento
	Descolagem ou escorregamento das folhas de teflon	Deficiente dimensionamento; deficiência do material; Sobrecargas excessivas; falta lubrificação
Neoprene cintado  Panela 	Descolagem ou destacamento das camadas neoprene	Deficiente dimensionamento; deficiência do material; Sobrecargas excessivas; acidentes naturais
	Esmagamento do neoprene	Deficiente dimensionamento; deficiência do material; Sobrecargas excessivas
	Cisalhamento/distorção excessiva do neoprene	Deficiente dimensionamento; deficiência do material; Sobrecargas excessivas; deficiente funcionamento; acidentes naturais
Chumbo	Esmagamento do chumbo	Deficiente dimensionamento; fluência; Sobrecargas excessivas;

Juntas de dilatação

As juntas de dilatação são conhecidas como um dos dispositivos que exigem uma maior manutenção nas pontes. São os componentes que melhor refletem o desgaste das obras de arte por serem elementos que sofrem desgaste mais acelerado de acordo com proporção em que são utilizadas (Costa, 2009).

As causas prováveis para o aparecimento das anomalias em juntas de dilatação, segundo Ferreira (2003), são apresentadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Patologia em juntas de dilatação (Ferreira, 2003)

Tipos de Patologia	Causa
1. Transição para o pavimento / pavimento	a. Deterioração da camada de transição b. Dano em guarda-cantos c. Descolamento na transição d. Existência de material betuminoso do pavimento sobre a junta e. Arrastamento do material betuminoso do pavimento sobre a junta f. Deterioração do pavimento
2. Geometria	a. Desnivelamento (ação de choque sob tráfego) b. Irregularidade geométrica na junta/funcionamento da junta no plano do tabuleiro
3. Movimentação	a. Impedimento do movimento da junta b. Junta/espço da junta excessivamente aberta(o) c. Junta/espço da junta excessivamente fechada(o)
4. Fixação à estrutura	a. Deterioração/ausência da selagem de alvéolos de fixação b. Pernos de fixação altos c. Elementos de fixação soltos ou ausentes d. Deterioração do leito de assentamento/zona de fixação e. Deterioração do leito de assentamento/zona de fixação

Tipos de Patologia	Causa
5. Junta / Material da junta	a. Deformação da junta/material da junta b. Fissuração/corte da junta/material da junta c. Destaque de material da junta d. Desgaste por abrasão de material da junta e. Corrosão do material da junta f. Oxidação de elementos metálicos g. Dano em elementos sub-superficiais do sistema de junta h. Desagregação entre elementos de junta i. Colapso/ausência de junta ou de módulos/partes significativas de junta
6. Impermeabilidade / Drenagem	a. Infiltração de águas b. Umidade/água estagnada no pavimento c. Deficiência no sistema de evacuação de águas
7. Conforto de utilização	a. Falta de aderência b. Emissão de ruído excessivo



Figura 3.15 Patologias nas juntas de dilatação (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004).

Outros elementos

Outros elementos em uma ponte, quando não realizam suas funções adequadamente, podem acarretar problemas na estrutura ou na qualidade e segurança de serviço. Estes outros elementos são a seguir resumidamente identificados, demonstrando possíveis problemas que podem apresentar e as respectivas causas.

Órgãos de drenagem

- Problema: Acúmulo de água na estrutura pode provocar possíveis anomalias na estrutura.
- Causa:
 - Dreno obstruído;
 - Gárgula obstruída ou não nivelada com o pavimento;
 - Caleiras partidas;
 - Falta de grelha e tubos de queda não revestidos;
 - Obstrução dos tubos de queda com cotovelos;
 - Estreitamento de tubagem.



Figura 3.16 - Patologias no sistema de drenagem (Vitório, 2015)

Guarda corpos

- Problema: O mau funcionamento deste elemento pode provocar falta de segurança trânsito de veículos ou pessoas.
- Causa:
 - Presença de descasque pontual ou generalizado da pintura de proteção;
 - Deformações devido impacto;
 - Má colocação dos elementos do guarda corpos;
 - Má fixação das suas bases;
 - Danos no concreto;
 - Desalinhamento dos perfis.



Figura 3.17 - Patologias no guarda-corpo (Vitório, 2013)

Revestimento de vias

- Problema: Reduz a qualidade de serviço e pode provocar falta de segurança no trânsito de veículos.
- Causa:
 - Existência de buraco;
 - Fissuras longitudinal, transversal ou em “pele de crocodilo”;
 - Marcas dos pneus dos veículos;
 - Desagregação de material

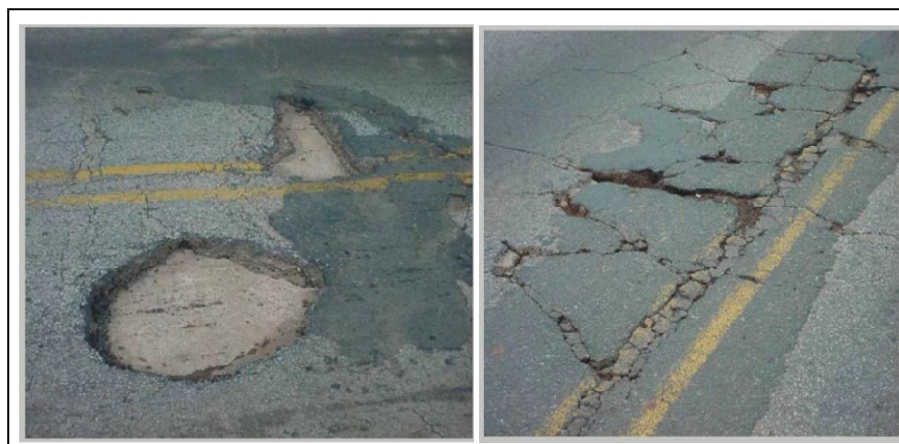


Figura 3.18 - Patologias no pavimento (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004).

Passeios

- Problema: Reduz a qualidade de serviço e pode provocar falta de segurança no trânsito de pessoas.
- Causa:
 - Fissuras na argamassa de revestimento;
 - Danos ou falta de elementos pré-fabricados;
 - Ausência de chapa de prolongamento da junta no passeio;
 - Acumulação de lixos e detritos



Figura 3.19 - Patologias no passeio (Vitório, 2013)

Taludes

- Problema: Pode provocar problemas na estrutura da obra, provocar redução da qualidade de serviço e de segurança nas vias.
- Causa:
 - Erosão dos taludes;
 - Existência de elementos soltos ou partidos;
 - Acumulação de detritos;
 - Sinais de fogueiras;
 - Existência de infiltrações de água;
 - Sinais de ocupação humana.



Figura 3.20 - Patologias no talude (Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias, 2004).

4 MÉTODOS DE INSPEÇÃO

Em uma gestão de sistema viário é importante conhecer as condições em que se encontram as estradas e as obras de artes pertencentes. As inspeções geram diagnósticos importantes para controle da situação das estruturas.

As inspeções tem o objetivo de recolher e apresentar informações que permitam caracterizar e analisar o estado efetivo da estrutura e seus componentes. As inspeções podem ter diversas motivações: inspeções de rotina, para analisar existência de anomalias visíveis ou suspeitas, ou após ocorrência de acidentes, entre outras.

Os diagnósticos sobre as condições da obra de arte são importantes para gerar bancos de dados sobre as suas condições. A partir destes dados é possível realizar uma análise sobre a necessidade de intervenções, reparos e programações de manutenções da obra.

No Brasil as inspeções são feitas conforme a NBR-9452 da ABNT que dispõe sobre "Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto". A NBR-9452 considera os seguintes tipos de inspeção:

- a) Cadastral;
- b) Rotineira;
- c) Especial;
- d) Extraordinária.

Em geral qualquer tipo de inspeção tem função de classificar a condição que se encontra a obra de arte. Às vezes existe a necessidade de realizar ensaios para uma classificação mais precisa das condições em que se encontra a obra. Na Figura 4.1 a seguir apresenta fluxograma do gerenciamento dos processos das inspeções.

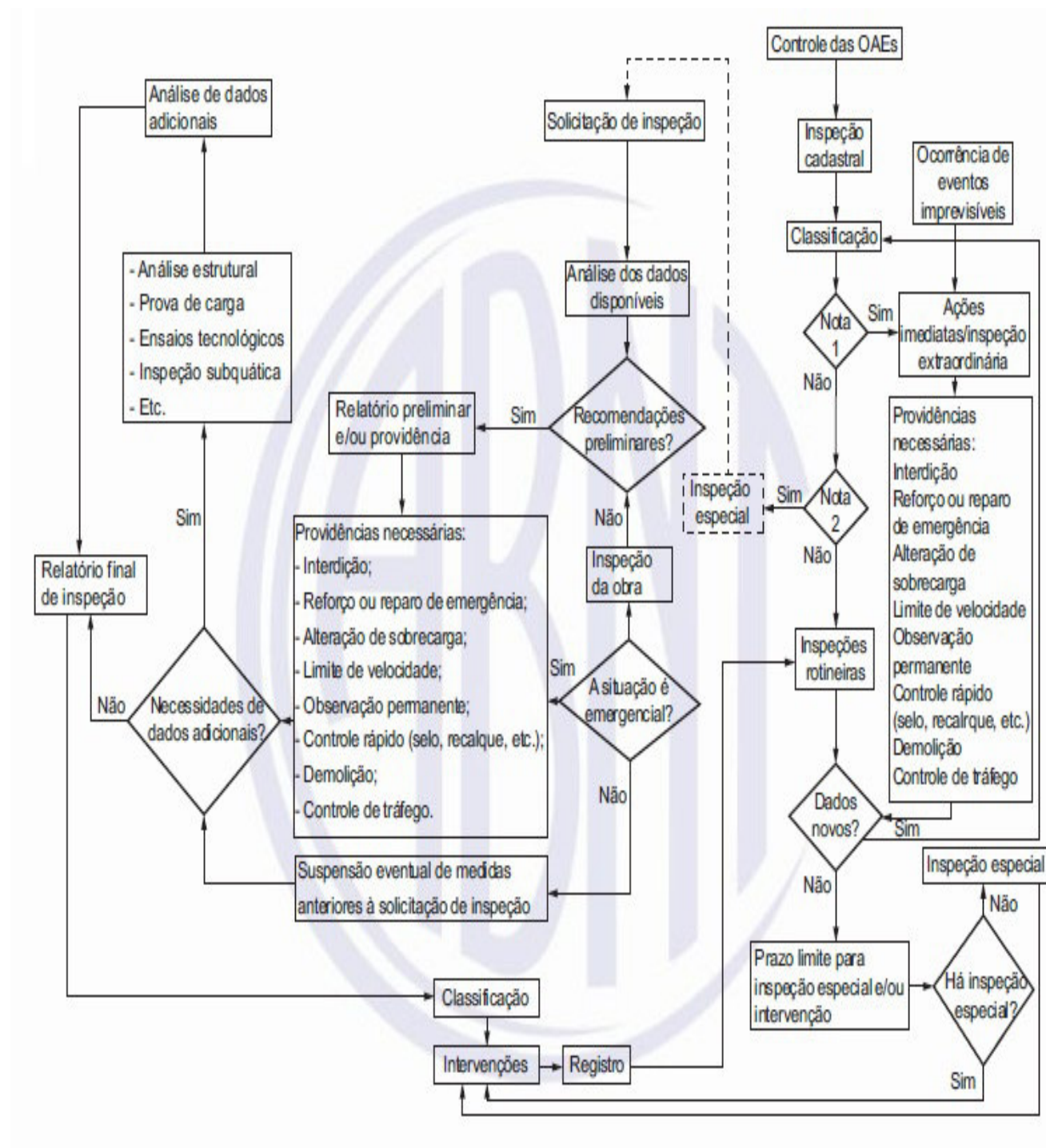


Figura 4.1 - Fluxograma de gerenciamento da OAE (NBR-9452)

4.1 INSPEÇÃO CADASTRAL

A inspeção cadastral é a primeira realizada na obra de arte. A NBR-9452 indica que esta inspeção deve ser realizada imediatamente após sua conclusão, instalação ou integração a um sistema de monitoramento.

Deve ser realizada também quando houver alterações na configuração da obra, como mudanças no sistema estrutural, alargamento, mudanças no comprimento e realização de reforços.

A inspeção cadastral tem como objetivo cadastrar a obra de arte. Ela serve como base dos dados das condições da obra sobre aspectos estruturais, funcionamento e durabilidade.

Conforme a NBR-9452, nesta inspeção são realizadas:

- a) Registro de identificação da obra, contendo o histórico de todas ocorrências e modificações da obra;
- b) Registro fotográfico, caracterizando as condições que se encontra a obra;
- c) Desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro, seções típicas transversais e longitudinais e com suas respectivas medidas principais;
- d) Classificação da condição que se encontra a obra.

Segue em anexo A o roteiro básico de uma inspeção cadastral indicada pela NBR-9452.

4.2 INSPEÇÃO ROTINEIRA

As inspeções rotineiras servem para acompanhar o estado de conservação e detectar eventuais anomalias existentes ou que venham a surgir. Segundo a NBR-9452 as inspeções rotineiras devem ser realizadas em prazo não superior que de um ano. Esta inspeção serve como base para planejamento dos trabalhos e inspeções especiais, bem como possíveis manutenções na obra quando detectada sua necessidade.

Em geral as inspeções rotineiras são vistoriais visuais realizadas à distância, a partir do terreno, do nível d'água ou sobre tabuleiro. Permite apenas a visualização superficial dos danos existentes na obra às vezes não identificando com clareza o seu real estado de conservação. Por isso há em certos casos a necessidade de uma inspeção especial.

A inspeção rotineira, segundo a NBR 9452, deve conter:

- a) Introdução contendo informações básicas da obra de arte;
- b) Registro fotográfico;

- c) Classificação da condição que se encontra a obra;
- d) Comparar se houve alteração do estado da obra, em relação a antiga inspeção;
- e) Informações consideradas importantes para inspeções futuras.

Segue no anexo B o modelo de ficha de inspeção rotineira conforme indica a NBR-9452.

A inspeção deve observar todas as partes da obra. Deverão ser feitas anotações de modo que não escape qualquer detalhe útil para interpretação do comportamento da obra, junto com um relatório fotográfico. Para que nenhuma parte passe despercebida é importante ter um roteiro para sua realização.

O roteiro deve seguir a sequência de inspeção, analisando as principais partes da obra corresponde à infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura, acabamentos e aos acessos. A Tabela 4.1 a seguir representa estes elementos e o que deve ser analisado de acordo com o estudo de Vitório (2006).

Tabela 4.1 - O que deve ser analisado em cada elemento de uma ponte (Vitório, 2006)

Elementos	ANALISAR
Infraestrutura	• Tipo de fundação adotada
	• No caso de fundações em estacas, verificar o estado de conservação dos blocos, vigas de amarração e das próprias estacas, descrevendo se estão expostas, partidas ou com corrosão, no caso de perfis metálicos;
	• Características do terreno de fundação, ocorrência de erosão, empuxos de terra ou de água, condições dos taludes das cabeceiras, tipo e condições da proteção adotada;
	• Avaliação do processo construtivo adotado, indicando a qualidade de execução.
Mesoestrutura	• Tipo estrutural, geometrias e materiais adotados;
	• Condições atuais (prumo, alinhamento, fissuras, trincas, infiltração d'água, umidade, falhas de concretagem, cobrimento e exposição das armaduras);
	• Sistema de drenagem (funcionamento dos drenos e barbacãs, água acumulada no encontro);
	• Contenção das terras (atuação dos empuxos de terras sobre as diversas paredes, fugas de aterro, solapamento / descalçamento das fundações, ação de enchentes sobre aterros);
	• No caso das pontes com extremidades em balanço, observar as condições das cortinas, alas laterais e placas de transição. Verificar a ocorrência de deslizamento de terras dos aterros de acesso sob as cortinas;
	• No caso de encontros de grande altura, implantados em encosta ou meia encosta, verificar a possibilidade de ruptura do maciço, bem como de deslizamento ou tombamento.

Elementos	ANALISAR
Superestrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema estrutural
	<ul style="list-style-type: none"> • Material empregado (concreto armado, concreto protendido, estrutura mista, metálica, de madeira);
	<ul style="list-style-type: none"> • Número de vãos, especificando dimensões de cada um, comprimento total da obra, largura da pista de rolamento, dos passeios e demais peças da plataforma;
	<ul style="list-style-type: none"> • Definição das dimensões das peças examinadas como comprimento, altura, largura, se seção cheia ou vazada, etc;
	<ul style="list-style-type: none"> • Exame detalhado das vigas principais, transversinas, cortinas, lajes centrais, lajes em balanço, lajes inferiores (tabuleiros celulares) e dentes, visando definir as condições atuais do concreto, das armaduras e do cobrimento;
	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação da ocorrência de alguma anomalia (fissuras ou trincas, infiltração, corrosão da armadura, deterioração do concreto etc.), sempre possível, as suas causas;
Acabamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Análise do estado dos guarda-corpos, registrando a necessidade de substituição ou reparos;
	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação da ocorrência de danos na pavimentação asfáltica ou de concreto sobre a ponte;
	<ul style="list-style-type: none"> • Análise da vedação, fixação e desgaste das juntas de dilatação do tabuleiro;
	<ul style="list-style-type: none"> • Análise do sistema de drenagem (insuficiência e/ou obstrução de drenos, declividade insuficiente, empoçamento e infiltração de água no tabuleiro);
	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação de desgaste nos guarda-rodas e nos passeios de pedestres;
	<ul style="list-style-type: none"> • Observação de falhas e/ou ausência do sistema de sinalização.
Acessos	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorrência de desníveis entre a ponte e o aterro de acesso (indicativo de ausência de placa de transição);
	<ul style="list-style-type: none"> • Abatimentos e trincas no pavimento sobre os aterros;
	<ul style="list-style-type: none"> • Situação dos taludes dos aterros (ocorrência de erosão, tipo de proteção, canaletas de drenagem, etc.);
	<ul style="list-style-type: none"> • Ocorrência de erosão no maciço, comprometendo a faixa de rolamento;
	<ul style="list-style-type: none"> • Existência ou não de acostamento;
	<ul style="list-style-type: none"> • Existência ou não de sinalização;
	<ul style="list-style-type: none"> • Condições do sistema de sinalização dos acessos.

Nas inspeções são necessário montar estratégias para evitar a obstrução no tráfego e organizar o caminho para o deslocamento da inspeção com finalidade de reduzir o tempo de inspeção e criar segurança para equipe executora da vistoria.

Pensando nisso deve-se analisar as condições de acesso para uma vistoria antes da sua realização. Isso ajuda a planejar possíveis desvios de tráfego, a necessidades do uso de equipamentos para inspecionar lugares de difícil acesso como escadas telescópicas, andaimes tubulares, caminhões com plataforma, caminhões dotados de dispositivos hidráulicos especiais, treliças móveis, guindastes (ver na Figura 4.2), escada tipo marinheiro, barcos, flutuantes ou dispositivos para investigações subaquáticas (Araújo, 2014).



Figura 4.2 - Caminhão-guindaste articulado com cesto inspeciona (Araujo, 2014).

O percurso a ser analisado deve gerar segurança para a equipe que realiza a inspeção e deve ser sinalizada para que o tráfego seja desviado. Para que nenhuma parte seja negligenciada, o percurso deve seguir uma ordem sequencial dos elementos da obra.

Atualmente o uso de veículos aéreos não tripulados (drones) para auxiliar nos trabalhos de inspeção (ver na Figura 4.3) tornou-se comum em diversos países. Essas tecnologias são uma solução para o acesso de vistoria e manutenção, pois propiciam maior segurança e redução do tempo de execução das atividades (Araujo, 2014).



Figura 4.3 - Vistoria realizada com o uso de um drone (Araujo, 2014).

4.3 INSPEÇÃO ESPECIAL

As inspeções especiais são realizadas com base nas inspeções rotineiras. Em alguns casos particulares também ocorrem nas cadastrais. Esta inspeção deve ser realizada por engenheiro especialista, pois deve ser realizar um mapeamento completo das anomalias encontradas na obra de arte, apresentar um diagnóstico e apontar as terapias necessárias.

Os ensaios são ferramentas fundamentais para apresentar o diagnóstico de uma inspeção especial. Tais atividades servem para uma caracterização completa do estado da estrutura e identificação das causas das anomalias.

A NBR-9452 indica que as inspeções especiais devem ser realizadas a cada 5 anos, podendo ser postergada para até 8 anos, desde que respeite este dois casos:

Se a obra tiver uma classificação de condição entre 4 e 5 (critérios de classificação segunda a NBR-9452).

A obra possuir acesso total aos elementos constituintes na inspeção rotineira.

As inspeções especiais também podem ser antecipadas quando a classificação ficar entre 1 e 2 (conforme a classificação da NBR-9452) e se houver mudanças na obra de arte como alargamento, reforços e elevação de classe portante.

4.4 INSPEÇÃO EXTRAORDINÁRIA

A inspeção extraordinária é uma inspeção não programada. Ela ocorre quando acontecem danos estruturais repentinos como acidentes por grandes impactos, inundações, vendaval, sismos e outros. Nesta inspeção deve apresentar um relatório específico com descrições da obra e identificação das anomalias, incluindo o mapeamento, documentação fotográfica e terapia recomendada (NBR-9452, 2016).

4.5 CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO

A NBR-9452 apresenta uma classificação da condição da obra de arte. Esta classificação serve como parâmetro das condições em que a obra se encontra para inspeção rotineira e cadastral.

Os critérios servem para classificar a situação da obra e se baseiam nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Esta classificação tem uma avaliação que deve pontuar de 1 a 5 a obra de arte, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A Tabela 4.2 representa e correlaciona as notas com as condições que estrutura se encontra segundo os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.

Tabela 4.2- Classificação das condições da OAE segundo NBR-9452 (NBR-9452)

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresentasse em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

4.6 ENSAIOS DE APOIO PARA INSPEÇÃO ESPECIAL

Os ensaios são necessários para uma caracterização mais precisa das anomalias. Os tipos de ensaios são determinados pela inspeção anterior, na maioria das vezes uma inspeção rotineira. Se na inspeção precedente foram observados defeitos críticos ou graves que possam afetar o desempenho da Obra solicita-se uma inspeção especial para realizar ensaios mais aprofundados sobre a anomalia encontrada.

Os métodos de ensaios são divididos em dois tipos: o destrutivo e não destrutivo. Os métodos destrutivos são ensaios que extraem fragmentos, porções ou peças para realização de testes, a maior parte em laboratório. Estes métodos têm desvantagens importantes, pois exigem a reparação da zona ensaiada (por vezes a sua substituição) e envolvem a criação de poeira e resíduos que podem causar danos irreparáveis em estruturas de caráter ornamental ou com valor artístico. Por este motivo são usados em casos especiais e com autorização (Manual De Inspeção De Pontes Rodoviárias, 2004).

Devido às desvantagens desse tipo de teste, em muitos casos recomendam-se técnicas de ensaios não destrutivos. Estes ensaios permitem uma avaliação dos elementos sem prejudicar sua utilização. Os métodos mais empregados são ultrassom, líquidos penetrantes, raios-x e gamagrafia. Vale também lembrar que estes métodos estão em constante evolução com surgimento de novas tecnologias, equipamentos e procedimentos para realizar ensaios mais precisos.

Em geral os ensaios são realizados para mensurar as condições de durabilidade, resistência e estabilidade da estrutura. Os aspectos analisados nos ensaios, segundo (Sahuinco ,2011), são:

- Condições das armaduras;
- Condições de carbonatação do concreto;
- Presença de agentes agressivos como cloretos, sulfetos e agregados reativos no concreto;
- Avaliação de resistência de concreto;
- Massa específica;
- Modulo de elasticidade;
- Permeabilidade do concreto, existência de vazios e fissuras e outros fatores.

Os ensaios mais usuais para diagnóstico da situação da estrutura são pacómetro, esclerometro, ultrassom, ensaio de carbonatação, resistividade elétrica e ensaios corpo de prova.

4.6.1 Pacómetro

O ensaio pacómetro recebe o nome do aparelho (ver na Figura 4.4) e tem função de mapear a estrutura localizando as armaduras presentes. Este ensaio baseia-se na leitura da interação entre as armaduras e as baixas frequências de um campo eletromagnético criado pelo próprio aparelho.

A partir dos dados recolhidos pelo pacómetro é possível localizar as barras de aço, estimar o diâmetro do cobrimento sobre as armaduras.



Figura 4.4 - Aparelho utilizado para a detecção da armadura

4.6.2 Esclerómetro

O esclerómetro é capaz de estimar a deformabilidade do concreto e sua resistência a partir da dureza superficial. Pode ser considerado um ensaio não destrutivo que utiliza um martelo (martelo de shmidt) que impulsionado por uma mola, choca com superfície do concreto. O resultado varia conforme a dureza do concreto e a resistência. Um esquema do princípio de funcionamento deste equipamento pode ser observado na Figura 4.5.

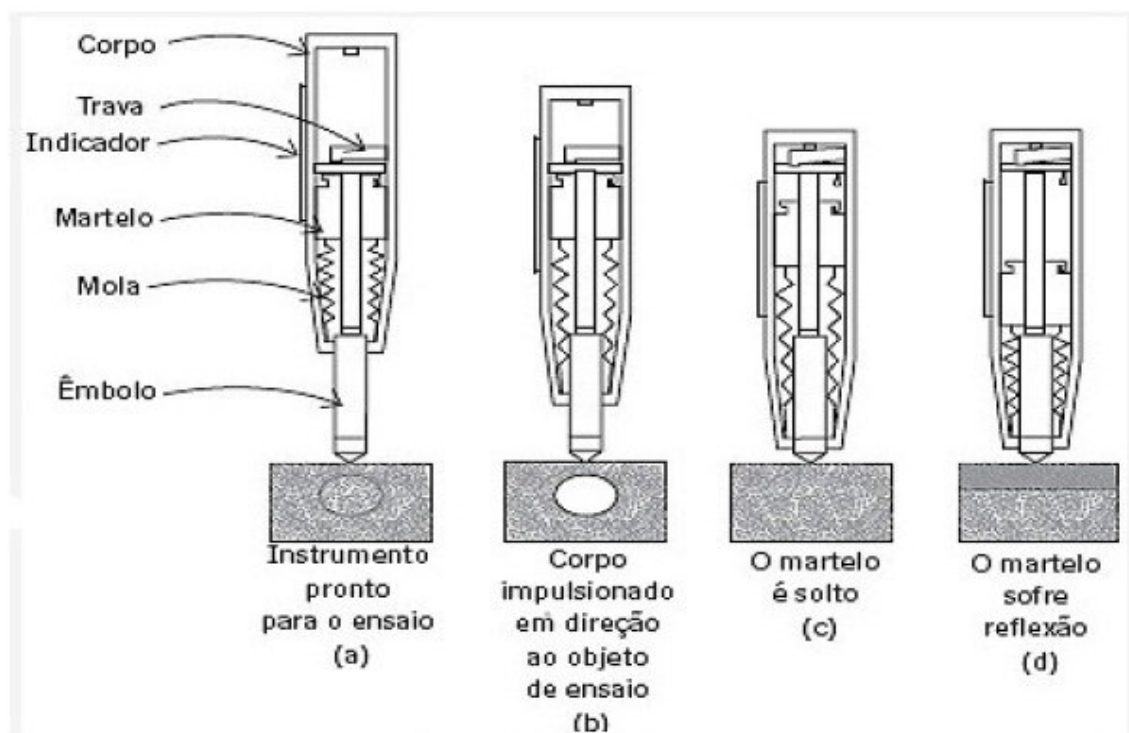


Figura 4.5 - Funcionamento esclerômetro (Sahuinco, 2011)

O ensaio esclerométrico é realizado seguindo a norma NBR-7584. Para realizar o ensaio a superfície a ser analisada deve estar limpa, seca, plana e uniforme, normalmente se usa uma pedra esmeril para regularizar a superfície. É recomendado que neste teste sejam realizadas de 12 a 16 leituras em área superficial (ver na Figura 4.6). Vale lembrar que estas medições não devem ser feitas no mesmo ponto e devem respeitar um espaço de 3cm entre elas. O martelo deve ser colocado perpendicular a superfície que vai ser analisada.

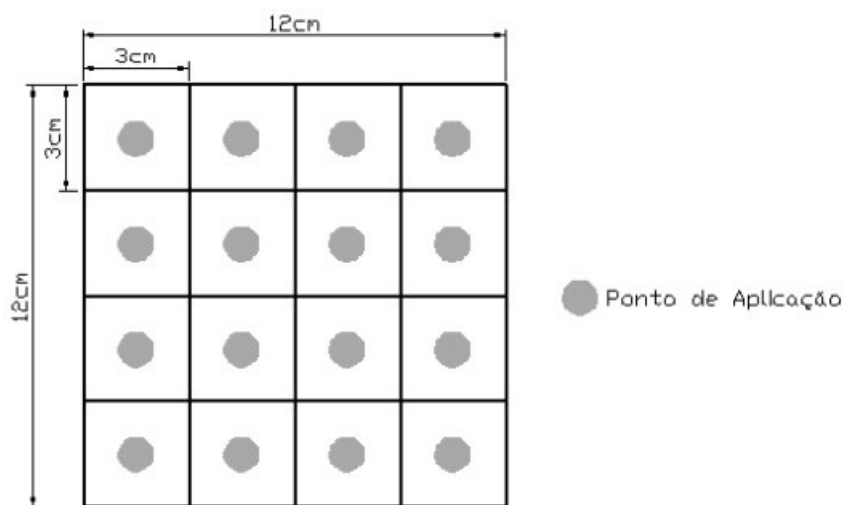


Figura 4.6 - Esquema de aplicação do ensaio (Sahuinco, 2011)

Essa modalidade tem a vantagem do baixo custo, simplicidade de execução e a rapidez na aferição do resultado. A utilização isolada deste ensaio não é recomendável para caracterização da resistência do concreto e é prudente considerar pelo menos dois tipos de ensaios para uma avaliação mais precisa (Sahuinco, 2011).



Figura 4.7 - Esclerómetro (Alves, 2015)

4.6.3 Ultrassom

O ensaio de ultrassom é normalizado pelo ASTM C597-97 e pela NBR 8802. Consiste na avaliação da velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos através de dois pontos estabelecidos. Este ensaio pode obter informações sobre o módulo de elasticidade dinâmico do concreto, resistência à compressão, localização de vazios, profundidade de fissuras internas e deteriorações existentes.



Figura 4.8 - Aparelho de medição ultrassom

O ensaio pode ser realizado por três possíveis tipos de leituras em função da disposição adotada para transdutores (ver na Figura 4.9).:

- i) Transmissão direta: Os transdutores se posicionam em faces opostas do elemento, tal é posicionamento mais indicado pois o tempo de percursos pode ser medido com maior precisão.
- ii) Transmissão semi-direta: Pode ser satisfatório se a distância entre transdutores não for muito longa e o ângulo não for muito grande.
- iii) Transmissão indireta: É método menos confiável e sujeito a diversas incertezas. É usado quando acesso é limitado a apenas uma face do elemento ensaiado.

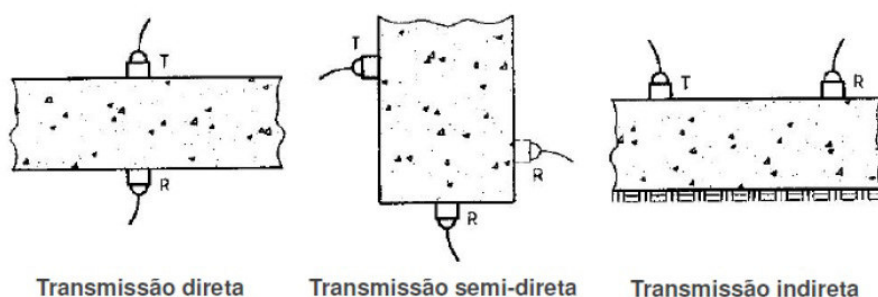


Figura 4.9 - Tipos de transmissão (Alves, 2015)

4.6.4 Ensaio de Carbonatação

O ensaio de carbonatação é um ensaio simples para determinar a presença e profundidade de carbonatação do concreto. Consiste na mensuração do pH em superfície do concreto recentemente descascado ou furado, usando uma solução composta de fenolftaleína.

A carbonatação é uma reação química entre CO_2 presente no ar e os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio, formando carbonato de cálcio. Esta reação diminui o pH do concreto de 13 para níveis em torno de 9, deixando as armaduras vulneráveis à corrosão.

A solução fenolftaleína adicionada à meios ácidos fica incolor, mas quando adicionada em meio básico, acima 9,3, se torna vermelho carmim. Quando há carbonatação na estrutura a solução continua incolor; e quando não, apresenta uma coloração vermelho carmim. A Figura 4.10 apresenta o processo do ensaio de carbonatação.



Figura 4.10 - Aplicação da fenolftaleína (Alves, 2015)

4.6.5 Resistividade Elétrica

A resistividade elétrica é um parâmetro importante para avaliação da corrosão das armaduras de estrutura de concreto armado. Os concretos com alta resistividade apresentam menor predisposição para desenvolvimento de uma corrosão nas armaduras (Sahuinco, 2011).

O método consiste na introdução de uma pequena corrente elétrica na superfície do concreto e na medição por um terminal receptor localizado a uma distância finita da fonte, como pode ver na Figura 4.11.

ρ = resistividade elétrica do concreto (ohm. cm);

a = espaçamento entre os eletrodos (cm);

V = tensão (volts);

I = corrente (ampère).

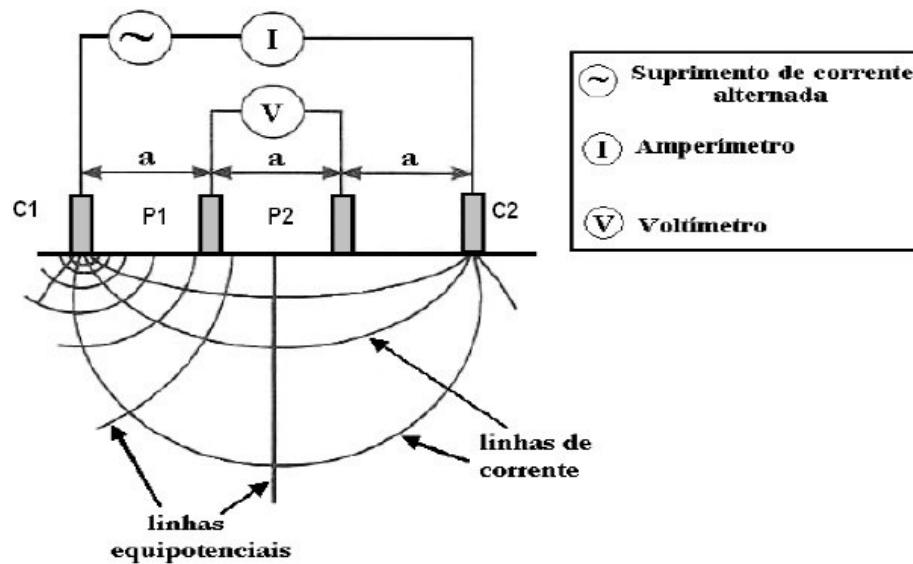


Figura 4.11 - Método resistividade elétrica (Sahuinco, 2011).

O ensaio é simples e rápido e pode ser realizado tanto em campo como em laboratório. Os resultados obtidos podem ajudar no entendimento das propriedades do concreto em relação potencial de corrosão e velocidade de corrosão.



Figura 4.12 - Aparelho utilizado para a determinação da resistividade do concreto

4.6.6 Ensaio corpo de prova

Todos os ensaios referidos anteriormente fazem parte dos designados ensaios não destrutivos. Ao contrário, o ensaio de corpo de prova, consiste em retirar corpos de provas do elemento que está sendo estudado. Os procedimentos para regularização deste método é encontrado na norma NBR-7680.

A extração dos corpos de prova servem para analisar com mais exatidão as características mecânicas, físicas e químicas do concreto pois em laboratório pode-se realizar um número maior de ensaios com mais precisão para determinar:

- Resistência do concreto (ver Figura 4.14);
- Carbonatação;
- Presença de agentes agressivos como cloreto, sulfatos e agregados reativos;
- Durabilidade do concreto (ver Figura 4.15);
- Porosidade do concreto;
- Outros.

Os dimensionamentos dos corpos de provas dependem do tipo de ensaio para o qual será utilizado. Os corpos de prova são normalmente retirados da estrutura por meio de uma máquina contendo coroa diamantada rotativa (extratora), ver na Figura 4.13, conhecida como serra copo. A extração utiliza água para refrigeração da máquina e os furos resultantes da perfuração são fechados normalmente usando uma argamassa de alta resistência conhecida como groute.



Figura 4.13 - Equipamento para retirar corpo de prova, serra copo (Alves, 2015).

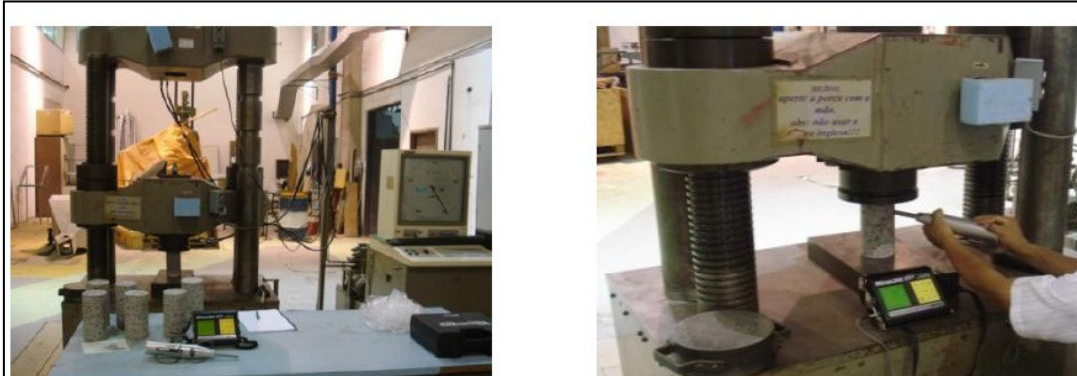


Figura 4.14 - Ensaio de resistência (Sahuinco, 2011)

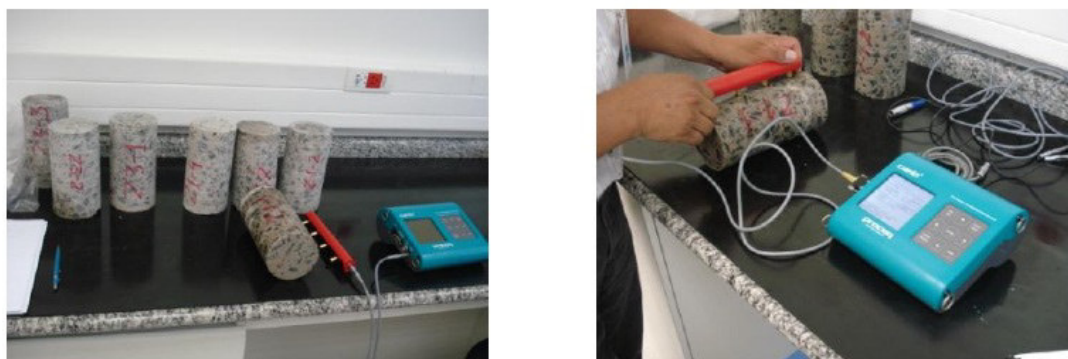


Figura 4.15 - Ensaio de resistividade elétrica (Sahuinco, 2011)

5 METODOLOGIA A APLICAR EM INSPEÇÕES ROTINEIRAS

Neste capítulo o trabalho vai apresentar um método de inspeção rotineira, baseada na NBR-9452 e incorporando parâmetros usados na inspeção em Portugal pela E.P (Estrada de Portugal). O método apresenta um procedimento de inspeção que tem intuito de garantir uma qualidade na avaliação efetuada através de uma padronização e simplificação da inspeção rotineira.

O diagnóstico apresentado por esta inspeção segue como base o fluxograma, da Figura 5.1.

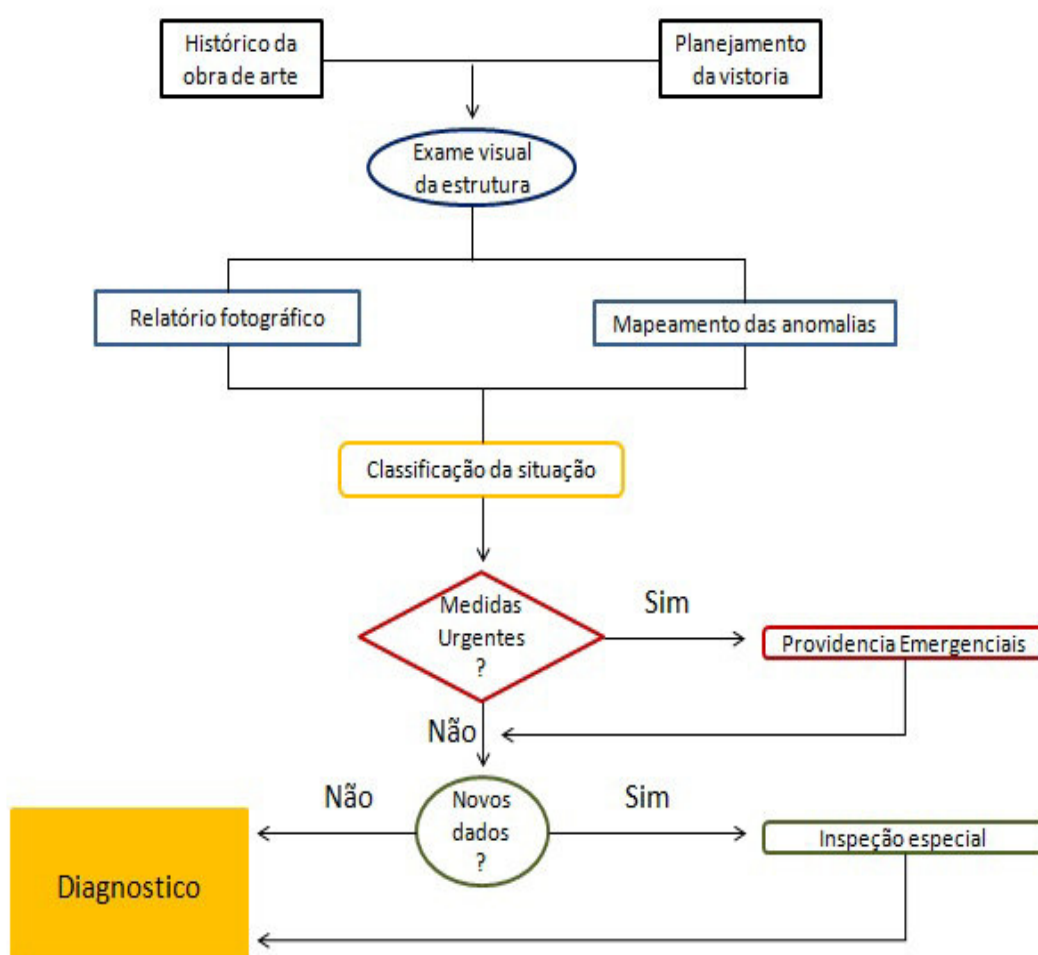


Figura 5.1 - Fluxograma da inspeção

Uma inspeção antes de iniciar deve analisar o histórico e os dados da obra de arte retirada de inspeções anteriores. O propósito de analisar estes dados é de verificar a existência de anomalias, alterações na estrutura que se deve levar em conta, o tipo de estrutura e componentes pertencentes à obra.

Além disso, deve planejar uma estratégia de inspeção levando em conta:

- A localização;
- Tráfego presente;
- Condições de acessos a todos os componentes;
- Necessidade de efetuar desvios de tráfego;
- Necessidade de informar as autoridades competentes;
- Relação de equipamentos que serão importantes para realização da inspeção.

Esses passos são importantes para que a inspeção ocorra de maneira segura, sem contratempos e para minimizar as perturbações ao tráfego.

O desenvolvimento da inspeção deve seguir uma sequência. Normalmente se inicia pela estrada e pelos elementos da superestrutura, prosseguindo até a infraestrutura. Além disso, alguns fatores devem ser levados em consideração como o tipo de obra de arte, o tipo de inspeção, a complexidade, o tamanho, o tráfego e procedimento especiais.

A seguir é apresentado um modelo de sequência que deve ser seguido para uma ponte comum, de tamanho médio, segundo o Manual de inspeções de pontes rodoviário (2004):

- I. **Rodovia e elementos da estrada:** deve-se verificar as condições de acesso, da segurança de tráfego, juntas de dilatação, passeios, guarda-corpos, dispositivos de drenagem, sinalização, barreiras e eventuais dispositivos presentes.
- II. **Elementos da superestrutura:** deve-se verificar as condições do aparelho de apoio, vigas principais e secundárias e dos tabuleiros.
- III. **Elementos da mesoestrutura e infraestrutura:** deve-se verificar as condições dos encontros, pilares, proteção dos taludes e fundações.
- IV. **Elementos de curso de água e canais:** deve-se verificar o perfil e alinhamento da secção da secção de vazão e margens e necessidade proteção nos pilares.

A inspeção propriamente dita corresponde a uma vistoria à obra de arte e deve registrar todos os seus elementos pertencentes. Quando observado um dano ou anomalia é necessário registrar a sua

localização exata e deve-se retratar no relatório a realidade existente durante a inspeção. Cada anomalia deve ser muito bem referenciada e caracterizada através da seguinte informação:

- Localização das anomalias (pontos cardeais ou pelo posicionamento relativamente à via sobre a obra);
- Descrição da anomalia (caracterização, aspecto e sua causa).

Deve-se observar se as anomalias encontradas prejudicam a estabilidade a durabilidade da estrutura, o tráfego ou a segurança da via. Devem analisar se existem deformações ou vibrações consideradas excessivas, a qualidade em que se encontram os materiais e se apresentam manchas, fissuras, deterioração ou mau funcionamento dos componentes.

O relatório fotográfico e o mapeamento das anomalias, para melhor entendimento, devem ser entregues juntos. O registro fotográfico do lado esquerdo e mapeamento do lado direito descrevendo e caracterizando anomalia e causas possíveis, como mostra na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Exemplo relatório de vistoria

Relatório da vistoria	
<u>Imagem</u>	<u>Caracterização da anomalia:</u>
	<u>Causa:</u>

Para facilitar análise e compreensão das anomalias encontradas na vistoria é interessante codificar as anomalias para facilitar o entendimento, como segue no exemplo na Tabela 5.2. Este procedimento ajuda na classificação da situação da obra de arte.

Tabela 5.2 - Exemplo codificação das anomalias

Código	Descrição das Anomalias
A1	Armadura à vista com corrosão
A2	Eflorescência
A3	Fissuração
A4	Mancha de umidade
A...	Nome da anomalia

A partir do relatório fotográfico executado pode-se avaliar e atribuir o estado de conservação de cada componente e da obra de arte em geral. O estado de conservação deve ser classificado por uma pontuação 1 a 5 como indicado pela NBR-9452, apresentado na Tabela 5.3. Para chegar nesta conclusão será aplicado uma metodologia de avaliação do estado de conservação usado pelo E.P.

Tabela 5.3 - Classificação usada NBR-9452

Notas de classificação	Condição
5	Excelente
4	Boa
3	Regular
2	Ruim
1	Critico

A metodologia do E.P usa o critério de pontuação através da caracterização dos danos, função do componente afetado e consequência dos danos. O somatória dos critérios totaliza uma pontuação que classifica a situação em que se encontra o elemento. A Tabela 5.4 apresenta os critérios de pontuação.

Tabela 5.4 - Critérios do estado de conservação (Rodrigues, 2015)

		0	1
Caracterização da Anomalia	Natureza da Anomalia	Pouco Grave	Muito Grave
	Estado de Desenvolvimento	Sem Evolução	Com Evolução
	Extensão da Anomalia	Localizada	Generalizada
Função do Componente		Cumprir a Função	Não Cumprir
Consequência da Anomalia		Sem Consequências para outros Elementos	Com Consequências para outros Elementos

Em relação aos critérios do estado de conservação deve ser considerado o seguinte:

- Natureza da Anomalia: Pouco grave (0), presença da anomalia não gera uma situação grave. Muito grave (1), presença da anomalia pode gerar risco a estrutura.
- Estado de Desenvolvimento: Não apresenta evolução (0), apresenta evolução (1).
- Extensão da Anomalia: Quando não se encontra generalizada pelo elemento (0) e generalizada (1).
- Função do Componente: Quando elemento cumpri ainda função (0) e quando anomalia prejudica a função do elemento (1).
- Consequência da Anomalia: Se anomalia ou elemento danificado não prejudica a função de outros elementos (0), quando sim (1).

A partir da soma dos critérios do estado de conservação de cada elemento podemos chegar uma classificação do estado de conservação. A classificação do E.P é dada de 0 a 5, onde 0 representa ótimo e 5 extremamente mau, como apresentado na Tabela 5.5 .

Tabela 5.5 - Classificação quanto ao estado de conservação (Rodrigues, 2015)

Código	Classificação	Ação
EC-0	Ótimo	Qualidade do material e execução perfeita
EC-1	Bom	Pequenos defeitos mas não necessita de intervenção
EC-2	Razoável	Defeitos com reparação não prioritária
EC-3	Mau	Intervenção a médio prazo
EC-4	Mau a Muito Mau	Intervenção a curto prazo
EC-5	Extremamente Mau	Intervenção imediata

O método tem como característica um melhor processo quantitativo em resultado de uma condensação das informações apresentadas, mostrando apenas o significado essencial daquilo que foi analisado de forma padronizada.

Existem semelhanças e diferenças entre a classificação do E.P com a NBR-9452. As pontuação são opostas pois enquanto na NBR-9452 as notas são de 5 a 1 (sendo 5 excelente e 1 crítico) no E.P as notas são de 0 a 5 (0 é ótimo e 5 extremamente mau), mas quando se analisa as caracterizações das situações que se encontra em cada pontuação é possível constatar uma analogia entre o E.P a NBR-9452. A Tabela 5.6 associa os valores classificação do E.P codificado como EC com as notas de classificação da NBR-9452 e correlaciona com a necessidade de inspeção especial e manutenção.

Tabela 5.6 - Notas de classificação para inspeção rotineira.

Notas de classificação	Condição	EC	Inspeção Especial	Manutenção
5	Excelente	EC- 0	Não há necessidade ¹	Manter cronograma ²
4	Boa	EC- 1		
3	Regular	EC- 2	Analisar a necessidade ¹	Não prioritário
2	Ruim	EC- 3	Programar a médio prazo	Intervenção a médio prazo
1	Critico	EC- 4	Programar a curto prazo	Intervenção a curto prazo
		EC- 5	Intervenção imediata	Intervenção imediata
1 - Respeitando período de 5 anos entre Inspeções especiais				
2 - Manter a manutenção de rotina prevista				

Após a realização da classificação é interessante apresentar estes resultados em uma ficha (ver na Figura 5.2) como resumo da inspeção realizada. Essa apresentação facilita o entendimento das condições da obra de arte. Esta ficha deve conter:

- Registro da época em que foi realizada a inspeção;
- Informações da localização;
- Tipo de obra de arte;
- Elementos componentes da obra;
- Descrição de reparos anteriores;
- Classificação da situação da obra de arte;
- Recomendações sobre inspeções especiais, reparos e manutenções.

Inspeção rotineira (ano):		OAE Código:	
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outros):		Data da inspeção:	
Informações gerais			
Localização:			
Data da inauguração:			
Tipo de OAE:	<input type="checkbox"/> Ponte	<input type="checkbox"/> Viaduto	<input type="checkbox"/> Passarela <input type="checkbox"/> Outro: _____
Tipo de estrutura:			
Elementos: (exemplo)			
<ul style="list-style-type: none"> • Tabuleiro • Vigas • Pilares • Encontros 			
Descrição das intervenções executadas ou em andamento			
Reparos:			
Alargamento:			
Reforços:			
Classificação da OAE (NBR-9452)			
Elemento	Classificação		
Tabuleiro parte			
Vigas			
Pilares			
Encontros			
Classificação geral: 2			
Recomendações			
Inspeção especial:			
Reparos e Manutenções:			

Figura 5.2 -Ficha de inspeção

6 CASO DE ESTUDO

6.1 APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Para explorar e aplicar a metodologia de inspeção rotineira apresentada anteriormente foi conduzida uma inspeção da passarela de stress-ribbon localizada na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Portugal. A passarela conecta a biblioteca à cafeteria e passa por cima da rua D. Frei Vicente da Soledade e Castro. Não obstante a simplicidade e a dimensão da estrutura, entendeu-se que este caso de obra seria adequado para demonstrar as potencialidades da metodologia de inspeção rotineira desenvolvida, devido sobretudo à facilidade de acesso e às anomalias que já apresenta, não obstante ser uma estrutura recente.



Figura 6.1 - Passarela da FEUP (Barrias, 2012)



Figura 6.2 - Localização da passarela

Os dados da passarela foram retirados do trabalho de Barrias (2012) que tinha como objetivo retirar dados sincronizados de acelerômetros, antenas GNSS e outros sensores de monitorização estrutural sobre uma aplicação real. Decidiu-se proceder a um ensaio de carga estática sobre esta estrutura.

A passarela tem uma estrutura estilo stress-ribbon, também conhecida ponte fita estressado. Este tipo de estrutura tem os cabos de suspensão incorporados no tabuleiro. A estabilidade e rigidez são determinadas pelas forças axiais instaladas nos cabos longitudinais tensionados e a configuração geométrica correspondente é definida pelas condições de equilíbrio destes elementos sob peso da estrutura.

A passarela é formada por dois vãos de 28 m e 30 m. O tabuleiro é composto por quatro cabos de pré-esforço embutidos em concreto armado e eleva-se em uma forma de catenária ao longo de dois vãos com uma curva circular sobre o suporte intermédio. Esta laje é uma secção retangular de dimensões externas de 3,80 m × 0,15 m.

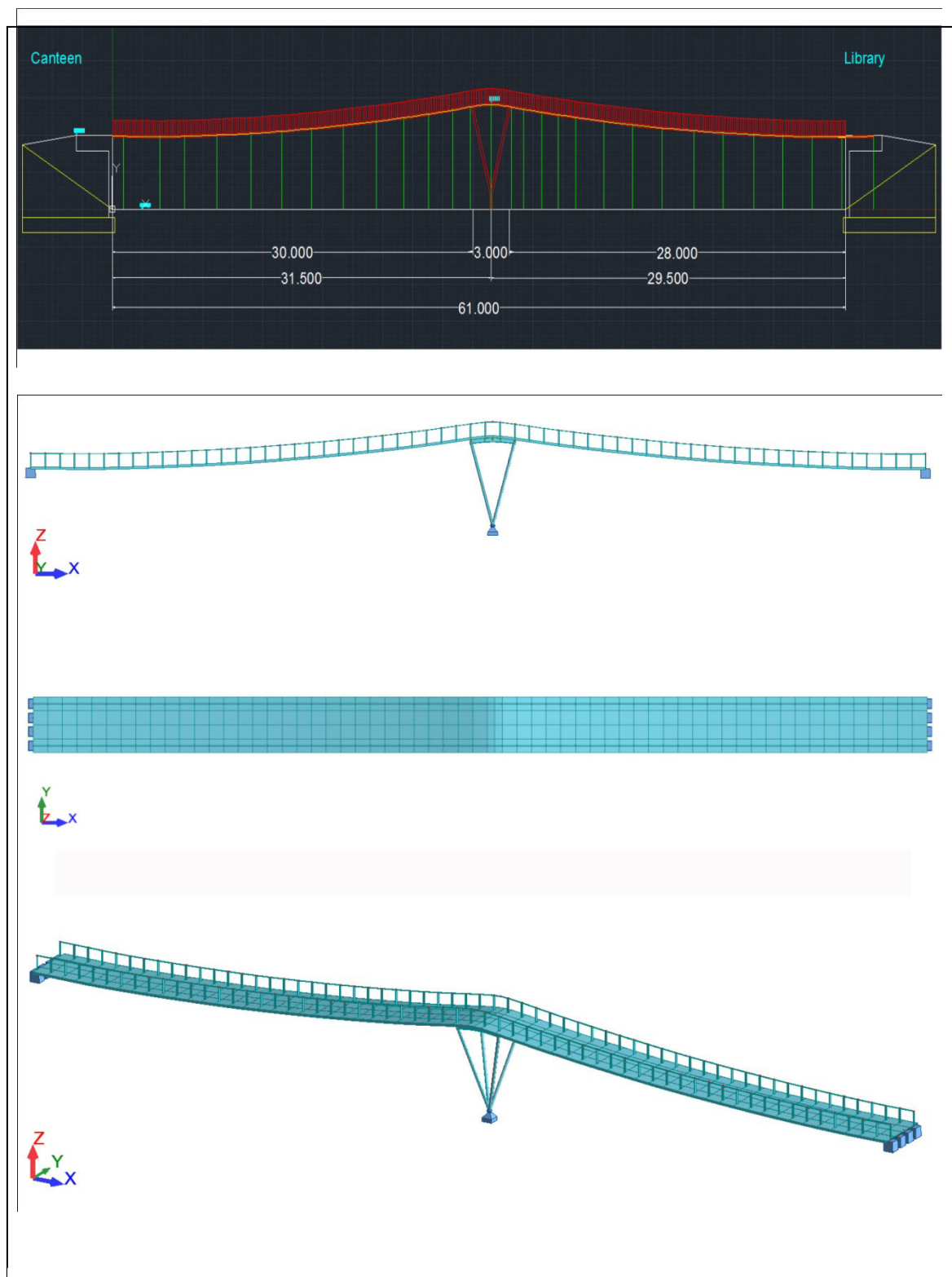


Figura 6.3 - Desenho da passarela no AutoCAD (Barrias, 2012)

A forma curva da estrutura foi realizada automaticamente durante o processo de construção pela aplicação das cargas permanentes. As placas do tabuleiro são pré moldados com dimensionamento 1,00 m x 3,80 m.

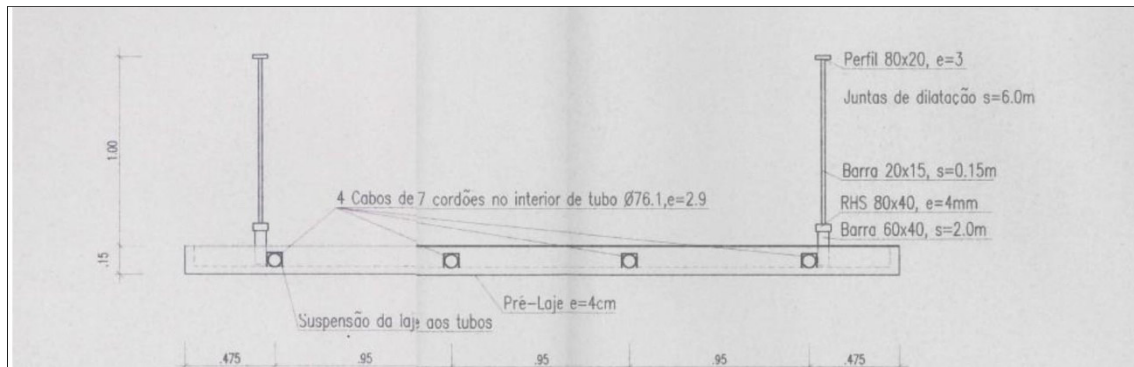


Figura 6.4 - Desenho detalhado do tabuleiro (BARRIAS, 2012)

A coluna central é uma estrutura metálica constituída por quatro tubos dispostos de acordo com as bordas laterais de uma pirâmide quadrangular invertida. Os quatro tubos de aço S355 têm um diâmetro exterior de 193,7 milímetros e uma espessura de parede de 16 mm.

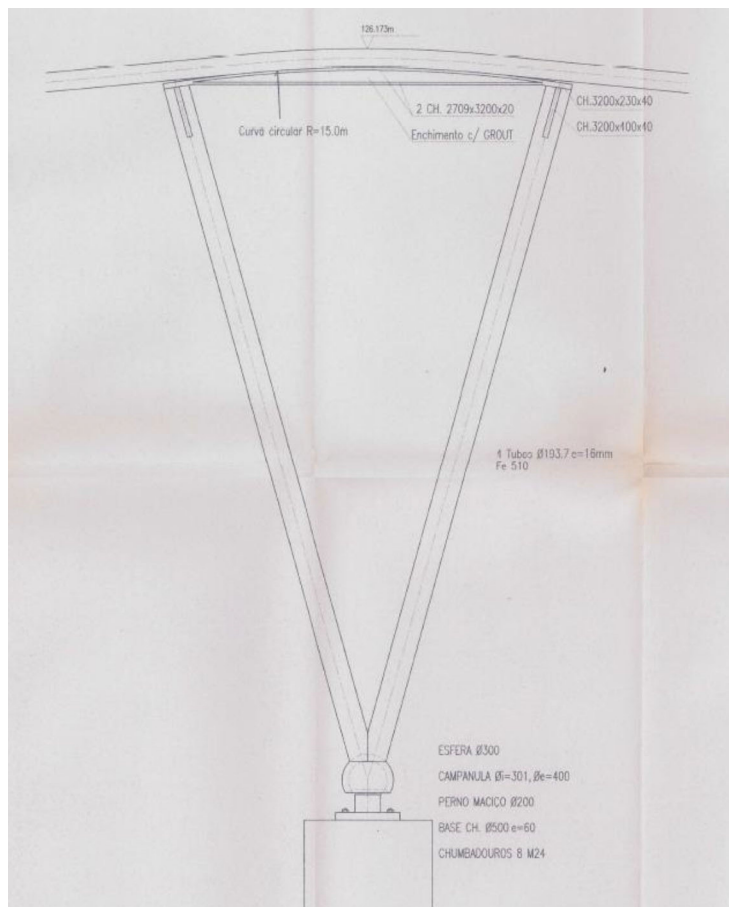


Figura 6.5 - Desenho detalhado do pilar (BARRIAS, 2012)



Figura 6.6 - Pilar da passarela

Os cabos são ancorados nos encontros que transmitem seus esforços para o solo. Além disso a passarela encontra um amortecedor de vibração abaixo da estrutura do lado próximo à biblioteca.



Figura 6.7 - Amortecedor de vibração

6.2 INSPEÇÃO DE ROTINA DO PASSADIÇO

Foi realizada uma inspeção rotineira da passagem superior para peões no dia 30 janeiro com uso de fotos para levantamento e caracterização das anomalias encontradas na obra de arte. A inspeção completa encontra-se no anexo C.

A inspeção foi iniciada pela vistoria da parte superior da passarela, começando pelo lado norte (ver na Figura 6.8) em direção ao lado sul. Analisou-se o guarda-corpos, pavimento, a parte superior do tabuleiro e dos encontros.



Figura 6.8 - Vista norte

Foram visualizadas anomalias como descascamento da pintura do guarda-corpos, alguns pontos com início de corrosão, trincas no pavimento, crescimento de vegetação e deformação do pavimento (ver na Figura 6.9) entre a junção do tabuleiro com os encontros em ambos os lados da passarela.



Figura 6.9 - Deformação do pavimento do lado sul

Depois da vistoria da parte superior, pelo lado sul inicia a vistoria das laterais e parte inferior da passarela (ver na Figura 6.10). Foi analisado o tabuleiro a partir do lado inferior, os encontros e o pilar. Foram visualizadas manchas no concreto resultado de possível carbonatação no encontro sul (ver Figura

6.11). No pilar é visível a necessidade de repintar pois o revestimento já se encontra desbotado e apresenta pontos de corrosão.



Figura 6.10 - Vista lateral lado sul



Figura 6.11 - Manchas de concreto no encontro lado sul

O tabuleiro inferior apresenta manchas de umidade pela borda do tabuleiro (ver na Figura 6.13) e na junção entre os encontros das placas do tabuleiro (ver na Figura 6.12).



Figura 6.12 - Vista inferior do tabuleiro no sul



Figura 6.13 -Tabuleiro com manchas de umidade

O tabuleiro inferior também apresenta manchas de oxidação nos encontros das placas do tabuleiro (ver na Figura 6.14), possivelmente das bainhas dos cabos. Isto fica visível pela mancha escura linear posicionada onde se encontram os cabos (Figura 6.15). Possivelmente foi causada pela movimentação das placas pela variação de temperatura ou por movimentação do tabuleiro, permitindo a entrada de umidade nos encontros das placas e favorecendo a oxidação das bainhas de proteção dos cabos. Para ter uma melhor análise e uma confirmação desta possibilidade oxidação será necessário realizar uma inspeção especial no tabuleiro inferior.

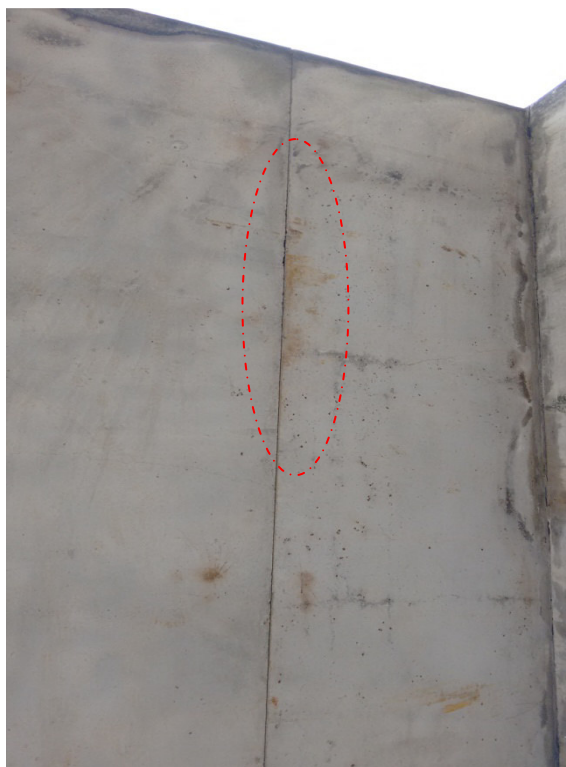


Figura 6.14 - Tabuleiro com mancha oxidação

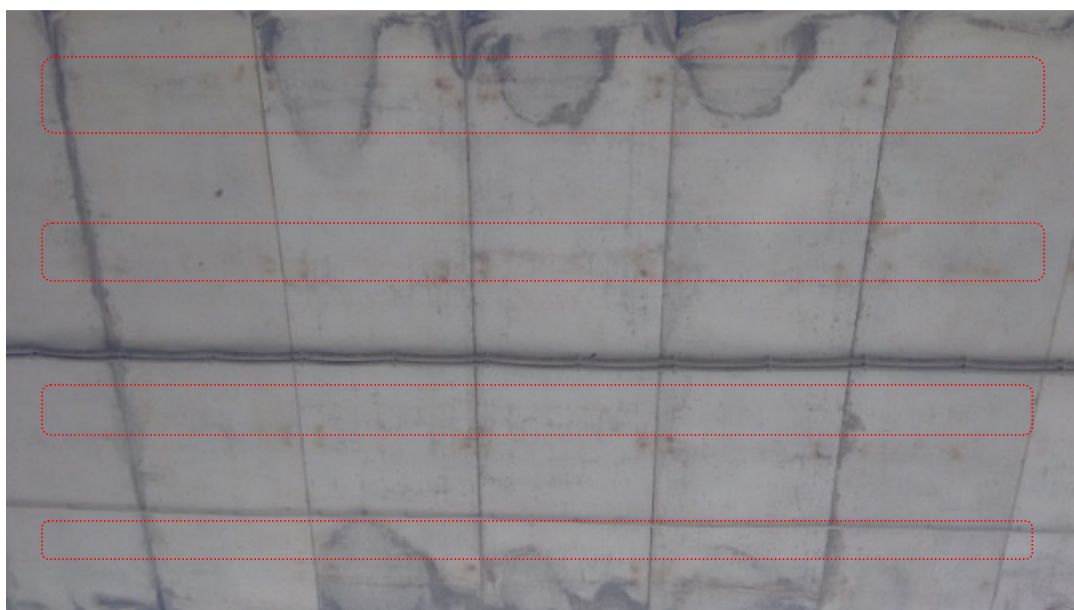


Figura 6.15 - Linhas dos cabos

6.3 RESULTADO DA INSPEÇÃO

As anomalias encontradas na passarela estão codificadas e numeradas na Tabela 6.1, como foi apresentado anteriormente.

Tabela 6.1 - Patologias codificadas

Patologias	
Cod.	Anomalia
A1	Mancha de oxidação
A2	Manchas de umidade
A3	Bolhas de ar superficiais
A4	Desagregação do concreto
A5	Eflorescência
A6	Corrosão no pilar
A7	Pintura desbotada do pilar
A8	Crescimento de vegetação
A9	Pavimento com deformação
A10	Trincas no pavimento
A11	Descascamento da pintura guarda-corpo
A12	Corrosão no guarda-corpos

Seguindo a metodologia montada neste trabalho as anomalias serão analisadas com os critérios do EP. Foi realizada uma análise de cada elemento da passarela, chegando à classificação usada pela NBR-9452. A pontuação usada foi definida na Tabela 6.2 apresenta avaliação do estado que se encontra a passarela.

Tabela 6.2 - Avaliação do estado de conservação da estrutura

Elemento	Patologias	Notas	EC	Classificação
Tabuleiro parte superior	A8	0+1+1+0+0	EC2	3
Tabuleiro parte inferior	A1, A2	1+1+1+0+0	EC3	2
Encontro norte	A1,A8,A9,A10	0+1+1+0+0	EC2	3
Encontro sul	A1,A3,A4,A5,A8,A9,A10	1+1+1+0+0	EC3	2
Pilar	A6,A7	1+0+1+0+0	EC2	3
Guarda corpo	A11,A12	0+1+1+0+0	EC2	3

Na classificação geral da estrutura será usada a pior classificação, neste caso 2 (ruim). A necessidade de programar inspeção especial para analisar as manchas de oxidação presentes na parte inferior do tabuleiro e análise da carbonatação no encontro sul. Além das inspeções especiais será necessário realizar alguns reparos e manutenções, indicadas na Figura 6.16 que representa a ficha de inspeção contendo dados de descrição da obra, classificação do estado dos elementos da OAE e recomendações futuras.

Inspeção rotineira (ano): 2016		OAE Código: Não tem	
Jurisdicção (Órgão, Concessão ou outros): Não tem		Data da inspeção: 30/01/2016	
Informações gerais			
Localização: Rua D. Frei Vicente da Soledade e Castro, Porto, Portugal			
Data da inauguração:			
Tipo de OAE:	<input type="checkbox"/> Ponte	<input type="checkbox"/> Viaduto	<input checked="" type="checkbox"/> Passarela <input type="checkbox"/> Outro: _____
Tipo de estrutura: Stress-ribbon			
Elementos: <ul style="list-style-type: none"> • A passarela é formada por dois vãos de 28 m e 30 m. • Tabuleiro (stress-ribbon) composto por quatro cabos de pré-esforço em concreto armado • Encontros (concreto armado) • Pilar (estrutura metálica) • Guarda corpo 			
Descrição das intervenções executadas ou em andamento			
Reparos: Não tem			
Alargamento: Não tem			
Reforços: Foi colocado em 2013 um amortecedor de vibração, se encontra de baixo da passarela do lado proxima a biblioteca.			
Classificação da OAE (NBR-9452)			
Elemento	Classificação		
Tabuleiro parte superior	3		Regular
Tabuleiro parte inferior	2		Ruim
Encontro norte	3		Regular
Encontro sul	2		Ruim
Pilar	3		Regular
Guarda corpo	3		Regular
Classificação geral: 2			
Recomendações			
Inspeção especial: <ul style="list-style-type: none"> • Analisar as manchas de oxidação presentes na parte inferior do tabuleiro, conferir condições dos cabos protendidos. • Analise da carbonatação no encontro sul 			
Reparos e Manutenções: <ul style="list-style-type: none"> • Programar repintura e tratamento de corrosões nos guarda-corpos e no pilar; • Analisar e estudar a implementação sistema de drenagem; • Tratamento das manchas de umidade; • Retirar a vegetação encontra na obra; • Arrumar o pavimento das rampas de acesso. 			

Figura 6.16 - Ficha de inspeção da Passarela da FEUP

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÕES

O trabalho propôs um modelo de inspeção rotineira em obras de arte especiais. O modelo apresentado consistiu no uso da NBR-9452 agregando valores da E.P. para melhor análise e padronização da inspeção.

Foram expostos detalhadamente ao longo do trabalho os objetivos geral e específicos. Considera-se que tais objetivos foram alcançados. Apresentaram-se os aspectos das OAE com foco em sistemas de estruturas mais comuns nas pontes e seus principais componentes. Também se apresentaram as anomalias relacionadas com a vida útil e a durabilidade de uma estrutura de concreto, apontando fatores que lhe dão origem e sua caracterização nas OAEs.

O trabalho apresentou os tipos de inspeções previstas na NBR-9452, caracterizando a sua funcionalidade e critérios usados. Isso foi importante para que se tenha um melhor entendimento do que é importante ser analisado em uma inspeção rotineira.

O modelo de inspeção rotineira aplicado neste trabalho utilizou critérios usados na E.P. para identificar a situação em que se encontram as OAE. Foi escolhido este tipo de avaliação por apresentar critérios quantitativos de análise dos elementos pertencentes às OAE. Este critério pontua as características dos danos, função do componente afetado e consequência dos danos. O processo quantitativo acaba gerando uma análise de forma mais padronizada na inspeção, além de apresentar as informações de maneira mais simples.

O trabalho preocupou-se em atender aos padrões exigidos pela NBR-9452. Com este propósito foi feito uma conversão dos valores quantitativos achados no método da E.P. para a da NBR-9452. Usou-se como critério para conversão a semelhança dos padrões de classificação das situações que se encontram nas OAE. Isso foi demonstrado avaliando a passarela que se encontra na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Portugal, onde foi realizada inspeção rotineira para aplicar o método analisado no trabalho.

Sobre a inspeção realizada na passarela, pode-se concluir que se encontra em uma situação ruim e que existe a necessidade de realização de uma inspeção especial para analisar as manchas de oxidação

presente no tabuleiro inferior e analisar a carbonatação no encontro sul. Existe a necessidade de realizar alguns reparos e manutenções em alguns elementos da passarela.

As conclusões que podemos tirar deste trabalho baseado nos dados pesquisados e na aplicação no estudo de caso, foi essencial para análise das condições em que se encontra a passarela, o uso dos valores de avaliação do EP. Isso pode contribuir para melhor análise da OAE, melhorando os padrões de inspeções para NBR - 9452.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

As inspeções em obras de arte é uma área ainda em desenvolvimento e da maior importância, sobretudo no Brasil. A concluir o presente documento enunciam-se algumas considerações que permitem evidenciar grande diversidade de estudos que ainda podem ser desenvolvidos relacionando com o contexto desta dissertação.

Podemos apontar para desenvolvimentos futuros:

- O desenvolvimento mais aprofundado dos tipos ensaios que podem e devem ser realizados em inspeções especiais. O domínio das técnicas da condução de ensaios não destrutivos e a correta interpretação dos resultados é da maior importância explorar.
- O desenvolvimento de documentos técnicos apontando tipos de anomalias, tipos de obra de arte e diagnósticos estruturais. Esta documentação técnica é essencial no suporte das campanhas de inspeção apoiando os inspetores na análise que vão fazendo das estruturas.
- O desenvolvimento e a otimização de novos sistemas de monitorização para obras de artes, utilizando materiais inteligentes ou desenvolvimento de novo sensores.
- Finalmente, o desenvolvimento de sistemas de gestão de obras de arte. Tais sistemas são essenciais porquanto agregam a informação essencial de cada obra de arte, a processam e a disponibilizam de modo a ser útil às tomadas de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J. (2003) – **Gestão de Pontes Rodoviárias: um modelo aplicável em Portugal**, tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Araújo (2014), Ciro José Ribeiro Villela. Vistoriando obras de arte especiais. **Revista Notícias da Construção**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.60-62, out. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto** — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

Barrias (2012), António Jose de Souza. **Gnss and aceleronmeters data fusion in large structures monitoring**. 2012. 77 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2012.

BRIME (2002) – **Bridge Management in Europe, Final Report**.

Costa (2009), Vanessa Miranda da. **Desempenho e Reabilitação de Pontes Rodoviárias: Aplicação a Casos de Estudo**. 2009. 2008 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, 2004. 253 p.

DNIT (2004), DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 010/2004 - PRO: Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa/ipr, 2004. 18 p.

E.P (2006) – **Manual de Inspeções Principais**, Estradas de Portugal, S.A.

Ferreira (2000), Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão**. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, 2000.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferreira (2013), Carlos Manuel Sebastião. **Tipologia, instalação, funcionamento e manutenção de diversos tipos de juntas de dilatação em Obras de Arte**. 2013. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

GOMES (2006), Izak da Silva. **Sistemas construtivos de pontes e viadutos com ênfase em lançamento de vigas com treliças lançadeiras**. 2006. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

Hernani (2012), Thais da Silva Ambrosio Garcia. **Patologias e tratamentos estruturais no metrô de São Paulo**. 2012. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

Lima (2006) – **Juntas de Dilatação em Pontes Rodoviárias, Desenvolvimento de um sistema de gestão**, Tese de mestrado Instituto Superior Técnico.

Lapa (2008), José Silva. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REPARO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

Lourenço (2009), Líbia C.. **Parâmetros de Avaliação de Patologias em Obras-de-Arte Especiais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2009. 10 p.

Manterola, J.; Cruz, P. (2004) – **Pontes: História e Princípios Gerais**.

Miranda (2014), Andressa Lucena Martins de. **PREVISÃO DE VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO COM BASE NOS PARÂMETROS DA NBR 6118:2014 UTILIZANDO SOFTWARES**. 2014. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014.

Pereira (2007), Rafael Dinalli. **Reabilitação de obras de artes especiais - pontes e viadutos**. 2007. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2007.

Reis (1997), **Folha da disciplina de Pontes**. Instituto Superior Técnico. DECivil Secção de Estruturas e Construção.

Radomski (2002) – **Bridge Rehabilitation** – Ed. Imperial College Press.

Rodrigues (2015), Prof. Dr. Carlos. **Inspeção e Reforço de Estruturas**: Porto, Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), 2015. 54 slides, color.

Sahuinco (2011), Melquiades Hermógenes Choquepuma. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. 2011. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Savelli (2016), Prof. Dr. Alfredo Mario. **PLANEJAMENTO E TECNICA CONSTRUÇÃO**: São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2016. 35 slides, color.

Souza (2005), Karen Nunes de. **ESTUDO EXPERIMENTAL E PROBABILÍSTICO DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SITUADAS EM AMBIENTE MARÍTIMO: INFLUÊNCIA DO GRAU DE SATURAÇÃO DO CONCRETO SOBRE A DIFUSIVIDADE DE CLORETOS**. 2005. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

Vitório (2006) , José Afonso Pereira. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Recife. ANAIS DO 48º. Recife: Ibracon, 2006. p. 1 - 16.

Vitório (2013) , José Afonso Pereira; BARROS, Rui Manuel Meneses Carneiro de. **Análise dos danos estruturais e das condições de estabilidade de 100 pontes rodoviárias no brasil: Associação Portuguesa para a Segurança e Conservação de Pontes**. Porto: P.j.s. Cruz, R. Calçada & T. Mendonça, 2013. 9 p.

Vitório (2015), José Afonso Pereira. **PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS: Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural**. Recife: Escola Politécnica de Pernambuco, 2015. 71 p.

Wolff (2013), Lucas Vaslanv da Silva. **MAPEAMENTO E ANÁLISE DE PATOLOGIAS DA SUPERESTRUTURA DE 10 VIADUTOS EM SECÇÃO CAIXÃO NO CONTORNO SUL DE CURITIBA**. 2013. 104 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção Civil. Orientador, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ANEXO A - FICHA DE INSPEÇÃO CADASTRAL (NBR-9452)

Tabela A.1 – Modelo de ficha de inspeção cadastral

Ficha de inspeção cadastral	
Inspeção Cadastral(ano):	OAE Código:
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro):	Data da inspeção:
Parte I - Cadastro	
A - Identificação e localização	
Via ou município:	Sentido:
Obra:	Localização (km ou endereço):
Ano da construção:	Projetista:
Trem-tipo:	Construtor:
B - Características da estrutura	
Comprimento e largura	
Comprimento total (m):	Largura total (m):
	Largura útil (m):
Tipologia estrutural	
Sistema construtivo (ver Tabela A.3):	
Natureza da transposição (ver Tabela A.4):	Material (ver Tabela A.5):
Seção tipo:	
Longitudinal (superestrutura) (ver Tabela A.2):	Mesoestrutura (ver Tabela A.2):
Transversal (superestrutura) (ver Tabela A.2):	Infraestrutura (ver Tabela A.2):
Características particulares	
Número de vãos:	Comprimento do vão típico (m):
Número de apoios:	Comprimento do maior vão (m):
Número de pilares por apoio:	Altura dos pilares (m):
Aparelhos de apoio (quantidade e tipo):	Juntas de dilatação (quantidade e tipo):
Encontros:	
Outras peculiaridades(exemplos: existência de dentes Gerber, no caso de seção celular registrar se há acesso):	
C - Características funcionais	
Características plani-altimétricas	
(exemplo: informar se a região é plana, ondulada ou montanhosa, traçado em tangente ou curvo, esconsidade, rampa)	

Tabela A.1 (continuação)

Características da pista	
Número de faixas:	Largura da faixa (m):
Acostamento:	Largura do acostamento (m):
Refúgios:	Largura do refúgio (m):
Passeio:	Largura do passeio (m):
Barreira rígida:	Guarda-corpo:
Pavimento (asfáltico, concreto):	Drenos:
Pingadeiras:	
Gabaritos	
Gabarito vertical do viaduto (m):	Gabarito navegável da ponte (m):
Tráfego	
Frequencia de passagem de carga especial:	
Parte II - Registro de anomalias	
A - Elementos estruturais	
Superestrutura:	
Mesoestrutura:	
Infraestrutura:	
Aparelhos de apoio:	
Juntas de dilatação:	
Encontros:	
Outros elementos:	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento:	
Acostamento e refúgio:	
Drenagem:	
Guarda - corpos:	
Barreira de concreto /Defensa metálica:	
C - Outros elementos	
Taludes:	
Iluminação:	
Sinalização:	

Tabela A.1 (continuação)

Gabaritos:	
Proteção de pilares:	
D - Informações complementares e recomendações de terapia	
Parte III - Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural:	Funcional:
Durabilidade:	
Justificativas:	
Croquis	
Planta do tabuleiro	
Corte longitudinal	
Corte transversal	
Detalhes adicionais	

Tabela A.1 (continuação)

Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)	
Identificação	Identificação
Identificação	Identificação
Identificação	Identificação
Identificação	Identificação
Identificação	Identificação

ANEXO B - FICHA DE INSPEÇÃO ROTINEIRA (NBR-9452)

Anexo B (normativo)

Roteiro básico e ficha para inspeção rotineira

As inspeções rotineiras devem cadastrar as anomalias existentes, sugerindo terapias e classificando a OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

A inspeção rotineira deve atender à mesma metodologia constante do Anexo A, suprimindo-se o cadastro e o croqui da OAE e acrescentando-se as recomendações de terapia.

B.1 Ficha de inspeção rotineira

A ficha de inspeção rotineira deve ser elaborada em conformidade com o modelo estabelecido na Tabela B.1.

Tabela B.1 – Modelo de ficha de inspeção rotineira

Inspeção rotineira (ano):		OAE Código:
Jurisdição (Orgão, Concessão ou outros):		Data da inspeção:
PARTE I – Informações gerais		
A - Identificação e localização		
Via ou município:	Sentido:	
Obra:	Localização (km ou endereço):	
B - Histórico das inspeções		
Inicial:	Última rotineira:	
Especial:		
C - Descrição das intervenções executadas ou em andamento		
Reparos:		
Alargamento:		
Reforços:		
PARTE II - Registro de manifestações patológicas		
A - Elementos estruturais		
Superestrutura:		
Mesoestrutura:		
Infraestrutura:		
Aparelhos de apoio:		
Juntas de dilatação:		

Tabela B.1 (continuação)

Encontros:	
Outros elementos:	
B - Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento:	
Acostamento e refúgio:	
Drenagem:	
Guarda-corpos:	
Barreiras rígidas/Defensas metálicas:	
C - Outros elementos	
Taludes:	
Iluminação:	
Sinalização:	
Gabaritos:	
Proteção de pilares:	
D - informação complementares	
E - Recomendações de terapia	
PARTE III – Classificação da OAE (ver Seção 5)	
Estrutural:	Funcional:
Durabilidade:	
Justificativas	

Tabela B.1 (continuação)

Levantamento fotográfico (no mínimo oito fotografias)	
<div></div>	<div></div>
Identificação	Identificação
<div></div>	<div></div>
Identificação	Identificação
<div></div>	<div></div>
Identificação	Identificação
<div></div>	<div></div>
Identificação	Identificação

ANEXO C -INSPEÇÃO NA PASSARELA DA FEUP

Inspeção rotineira (ano): 2016		OAE Código: Não tem	
Jurisdicção (Órgão, Concessão ou outros): Não tem		Data da inspeção: 30/01/2016	
Informações gerais			
Localização: Rua D. Frei Vicente da Soledade e Castro, Porto, Portugal			
Data da inauguração:			
Tipo de OAE:	<input type="checkbox"/> Ponte	<input type="checkbox"/> Viaduto	<input checked="" type="checkbox"/> Passarela <input type="checkbox"/> Outro: _____
Tipo de estrutura: Stress-ribbon			
Elementos: <ul style="list-style-type: none"> • A passarela é formada por dois vãos de 28 m e 30 m. • Tabuleiro (stress-ribbon) composto por quatro cabos de pré-esforço em concreto armado • Encontros (concreto armado) • Pilar (estrutura metálica) • Guarda corpo 			
Descrição das intervenções executadas ou em andamento			
Reparos: Não tem			
Alargamento: Não tem			
Reforços: Foi colocado em 2013 um amortecedor de vibração, se encontra de baixo da passarela do lado proxima a biblioteca.			
Classificação da OAE (NBR-9452)			
Elemento	Classificação		
Tabuleiro parte superior	3	Regular	
Tabuleiro parte inferior	2	Ruim	
Encontro norte	3	Regular	
Encontro sul	2	Ruim	
Pilar	3	Regular	
Guarda corpo	3	Regular	
Classificação geral: 2			
Recomendações			
Inspeção especial: <ul style="list-style-type: none"> • Analisar as manchas de oxidação presentes na parte inferior do tabuleiro, conferir condições dos cabos protendidos. • Analise da carbonatação no encontro sul 			
Reparos e Manutenções: <ul style="list-style-type: none"> • Programar repintura e tratamento de corrosões nos guarda-corpos e no pilar; • Analisar e estudar a implementação sistema de drenagem; • Tratamento das manchas de umidade; • Retirar a vegetação encontra na obra; • Arrumar o pavimento das rampas de acesso. 			

Vista por cima da passarela



Figura 1 - Vista norte



Figura 2 - Vista do sul



Figura 3 - Anomalia A12



Figura 4 - Anomalia A12

Encontra alguns pontos marcados pela corrosão no guarda corpo.

Tipos anomalias:

A12- Corrosão nos guarda-corpos

Possíveis causas:

- Falta de manutenção;
- Uso de tintas deficientes como proteção;
- Poluição e contaminação biológica;
- Penetração de cloretos.



Figura 5 - Anomalia A11

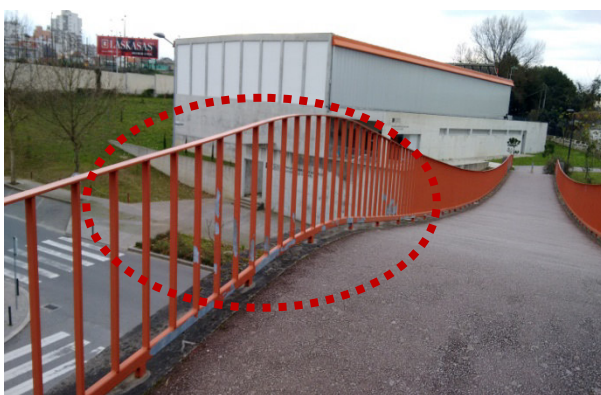


Figura 6 - Anomalia A11

É visível por todo guarda corpo pontos sem pintura, ou seja, descascado, podendo facilitar o surgimento de mais corrosão no guarda-corpo.

Tipos anomalias:

A11-Descascamento da pintura guarda-corpo

Possíveis causas:

- Falta de manutenção;
- Uso de tintas deficientes como proteção;
- Poluição e contaminação biológica;
- Penetração de cloretos



Figura 7 - Lado norte com A10 e A9



Figura 8 - Lado sul com A10, A9 e A8

Os dois lados da passarela onde há o encontro entre laje e rampa de acesso apresentam trincas longitudinais, possível causa o trabalho de movimentação entre laje e rampa.

Tipos anomalias:

A10-Trincas no pavimento

A9 - Pavimento com deformação

A8 - Crescimento de vegetação

Possíveis causas:

- Erosão da terra abaixo das rampas de acesso
- Erro de projeto
- Erro de leitura e execução de projeto



Figura 9 - Talude do lado norte A10



Figura 10 - Talude do lado norte A10



Figura 11 - Talude do lado sul A9

No lado norte encontra trincas na rampa e leve ondulação no pavimento, enquanto no lado sul se encontra uma ondulação mais elevada. Possível causa movimentação da terra do talude.

Tipos anomalias:

A10-Trincas no pavimento

A9 -Pavimento com deformação

Possíveis causas:

- Erosão da terra abaixo das placas do talude
- Erro de leitura e execução de projeto



Figura 12 - Anomalia A8



Figura 13 - Lado leste com A8



Figura 14 - Lado oeste com A8

Encontra crescimento de vegetação generalizado pelas bordas da passarela

Tipos anomalias:

A8 - Crescimento de vegetação

Possíveis causas:

- Falta de policiamento local
- Poluição e contaminação biológica
- Penetração de cloretos

Vista lateral e baixo



Figura 15 - Vista lateral lado sul



Figura 16 - Lateral lado sul



Figura 17 - Anomalia A5

Visíveis manchas no concreto, possível carbonatação devido a presença de água. Aparece que foi realizado um reparo, mas ainda apresenta anomalias. É necessário realizar ensaios para carbonatação e condições da armadura.

Tipos anomalias:

- A3- Bolhas de ar superficiais
- A4- Desagregação do concreto
- A5- Eflorescência

Possíveis causas:

- Lixiviação da pasta de cimento

Ensaio necessários:

- Profundidade de Carbonatação
- Detecção da Armadura



Figura 18 - Lado sul (A2 e A5)



Figura 19 - Lado sul (A2 e A5)

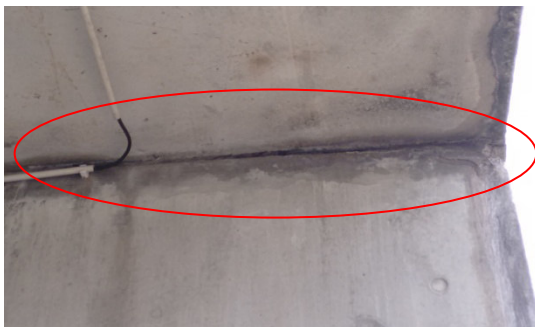


Figura 20 - Lado norte (A2 e A5)



Figura 21 - Lado norte (A2 e A5)

Por baixo da passarela é visível que no encontro do tabuleiro com o talude há infiltração de água. Isso acontece dos dois lados da passarela.

Tipos anomalias:

A2 - Mancha de umidade

A5 - Eflorescência

Possíveis causas:

- Lixiviação da pasta de cimento
- Sistema de impermeabilização deficiente
- Ineficiente sistema de drenagem da ponte

Ensaio necessários:

- Profundidade de Carbonatação
- Teor de Cloretos
- Detecção da Armadura



Figura 22 - Tabuleiro A2

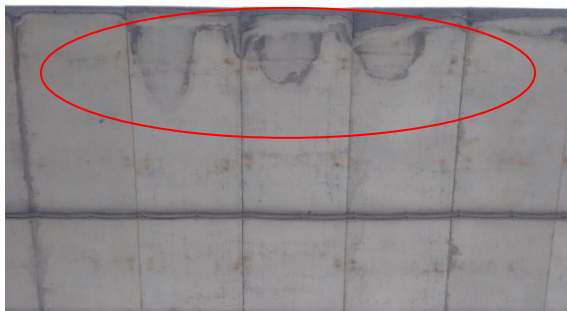


Figura 23 - Tabuleiro A2



Figura 24 - Tabuleiro A2



Figura 25 - Tabuleiro A2

Por baixo dos tabuleiros encontro manchas de umidade, já se apresenta generalizado pelas bordas dos tabuleiros. Possível motivo erro de projeto em não elaborar um sistema de drenagem na passarela.

Tipos anomalias:

A2 - Mancha de umidade

Possíveis causas:

- Lixiviação da pasta de cimento
- Sistema de impermeabilização deficiente
- Erro de projeto

Ensaio necessários:

- Profundidade de Carbonatação
- Teor de Cloretos
- Detecção da Armadura



Figura 26 - Tabuleiro coma A1 e A2



Figura 27 - Tabuleiro coma A1

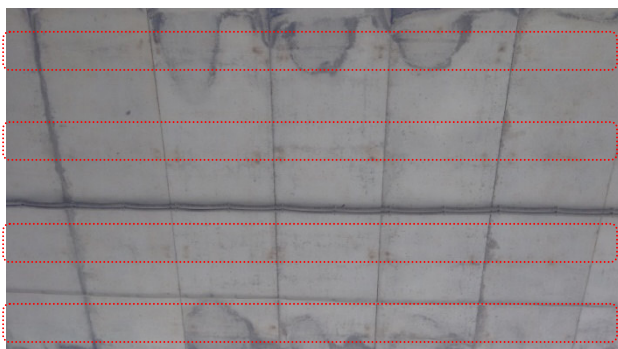


Figura 28 - Linhas dos cabos

É visível que nos pontos de encontro entre placas que formam o tabuleiro a acesso de umidade. Com isso surgem manchas de oxidação, provavelmente das bainhas dos cabos. Pode tirar esta hipótese pela mancha escura linear vista por todo tabuleiro posicionados onde se encontra as bainhas.

Tipos anomalias:

A1 - Manchas de oxidação

A2 - Mancha de umidade

Possíveis causas:

- Corrosão da armadura interna
- Sistema de impermeabilização deficiente
- Erro de projeto

Isso se deve a entrada da água vão das placas

Ensaio necessários:

- Profundidade de Carbonatação
- Teor de Cloretos
- Detecção da Armadura

Pilar



Figura 29 - Pilar da passarela



Figura 30 - Pilar da passarela



Figura 31 - Pilar da passarela

Visível a necessidade repintar, a estrutura do pilar, já se encontra desbotada.

Tipos anomalias:

A7- Pintura desbotada do pilar

Possíveis causas:

- Falta de manutenção;
- Uso de tintas deficientes como proteção;
- Poluição e contaminação biológica;



Figura 32 - Base do pilar A6



Figura 33 - Base do pilar A6



Figura 34 - Base do pilar A6

Na base do pilar apresenta corrosão na estrutura, descascamento da pintura.

Tipos anomalias:

A6- Corrosão no pilar

Possíveis causas:

- Falta de manutenção;
- Uso de tintas deficientes como proteção;
- Poluição e contaminação biológica;